Cambridge History of Science Series

剑桥科学史丛书

中世纪的物理科学思想

[美] 爱德华·格兰特 著　郝刘祥 译



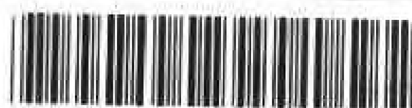
Physical Science in the Middle Ages

复旦大学出版社

中世纪的物理科学思想

[美] 爱德华·格兰特 著 郝刘祥 译

PHYSICAL SCIENCE IN THE MIDDLE AGES



图书在版编目(CIP)数据

中世纪的物理科学思想/[美]格兰特著;郝刘祥译．
—上海:复旦大学出版社,2000.1
(剑桥科学史丛书)
ISBN 7-309-02329-3

Ⅰ.中… Ⅱ.①格…②郝… Ⅲ.物理学史-中世纪
Ⅳ.04-09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 31537 号

Physical Science in the Middle Ages

Edward Grant

出版发行	复旦大学出版社
	上海市国权路 579 号 200433
	86-21-65102941(发行部) 86-21-65642892(编辑部)
	fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com
经销	新华书店上海发行所
印刷	江苏丹阳市教育印刷厂
开本	889×1194 1/32
印张	5.125
字数	132 千
版次	2000 年 1 月第一版 2001 年 1 月第二次印刷
印数	3 001—6 000
定价	13.50 元

第一章
公元 500 年—1000 年科学的状况

自公元前第 2 世纪和第 1 世纪希腊的哲学和科学开始渗入罗马版图起，迄至现在，其间有一个无庸置疑的事实：公元 500 年—1000 年间，科学在西欧处于最低潮；直到 12 世纪及 13 世纪早期，古希腊和阿拉伯科学珍品的涌入带来了崭新的科学文献，西欧的科学才逐渐上升。这种糟糕的事态何以发生？为什么这种状态又会持续好几个世纪之久呢？

由于产生上述疑问的时代紧承罗马帝国的逐步解体与变迁，以及基督教作为国教的胜利确立，这两方面的事件几乎不可避免地要被当成审视科学衰微的广阔历史背景。早在戴克里先(Diocletian，公元 285 年—公元 305 年)统治时期，几个世纪的政治动荡已经预示了罗马帝国的分裂。这种东西两半的划分在公元 395 年狄奥多西(Theodosius)死后已难以挽回。5 世纪西罗马遭到入侵的日耳曼部落的掠夺，到公元 500 年，大部分领土已落入这些部落手中。尽管随后有东罗马皇帝查士丁尼(Justinian)的努力，帝国终究还是一具僵尸。西欧则逐步形成了新型的社会和政府组织，以适应迥异于几个世纪之前的环境。随着强大中央政府的崩溃，以及作为公元初几个世纪内帝国标志的都市生活的逐渐消失，西半部智力生活遭受

到的厄运是不足为奇的。如果说适度的政治稳定、城市生活方式以及某些渠道的庇护对于科学探索是必不可少的,或者至少是有所帮助的话,那么,这些东西的缺乏便会使我们大致理解,在西欧历史中,科学的势头何以衰退并停滞如此长的时间。

基督教的胜利,是长期以来各种神秘的宗教和信仰明争暗斗的顶峰。这一竞争远始于希腊化时代,直到公元 392 年狄奥多西宣布基督教是唯一合法的信仰才宣告结束。随着社会各个阶层不堪承受愈来愈重的经济与政治压迫,各种神秘的信仰活跃起来,它们的教义借助畅通的帝国大道向四方散布。埃西斯[①] (Isis)、密特拉[②] (Mithra)、西贝莉[③] (Cybele)、索·英维克特(Sol Invictus——不可征服的太阳)以及诺斯提(Gnostics)、基督徒(Christians)等等,这些信仰不仅相互汲取教义和仪式,而且还共同信奉一些基本的信条:这个世界是有罪的,它必将灭亡;人有原罪,但只要他远离这个世界的具体事务并追求永恒的精神世界,就可望获得永恒的幸福。伴随着各种程度不等的苦行主义,许多宗教都确信有一个救赎主,他将以自己的死给他的忠实信徒带来永生。甚至当时的一些哲学流派,如新柏拉图主义、新毕达哥拉斯主义,还试图引导各自的信徒与上帝融合并得到拯救,尽管他们用上了更多的智力手段,却不见得比用巫术去达到终极目标高明多少。

确实,在基督纪元的头几个世纪,罗马帝国内已普遍接受了各种玄妙的超自然力。归在埃及神图斯(Thoth)——希腊人称之为赫耳墨斯·脱莱吉斯吐斯(Hermes Trismgistas)(十足伟大的赫耳墨斯)——名下的大量文献可以为此提供佐证。尽管赫耳墨斯主义采录了柏拉图主义、新毕达哥拉斯主义、斯多噶学派等各种哲学的内

① 埃及神话中司生育与繁殖的女神。——译者注。

② 古代波斯光明与真理之神。——译者注。

② 古时小亚细亚人所尊敬的自然力神。——译者注。

容,并且利用了许多当时的科学理论与知识,它的文献却标志着对希腊科学和哲学的理性传统的反动,因为它试图通过巫术、直觉和玄想来把握宇宙。由于这些文献都归在大神赫耳墨斯名下,并且强调埃及智慧,许多读者不加甄别地视其为早于柏拉图甚至还早于摩西的远古之作。这些文献被作为古代智慧的原始资料库,因此发生了巨大的影响,甚至基督教神甫也以钦佩之情来阅读它们。拉克坦提乌斯(Lactantius,活跃于公元 300 年)在阅读了原始希腊文献后,对赫耳墨斯表示了高度崇敬,并视其为基督教的一位非犹太先知。圣·奥古斯丁(St. Augustine)至少读过一部拉丁译本,一方面他摒弃了文献中对埃及诸神的塑像会借助神秘手段获得神采的描写,另一方面却完全承认赫耳墨斯是摩西之后希腊圣贤之前在埃及有着强大感召力的人物。尽管赫耳墨斯文献在中世纪已有少量拉丁译本,且对中世纪有过一定影响,但它们的作用在文艺复兴时期才完全表现出来,其时它们为研究与鉴赏自然和宗教提供了一个广泛认同的指南。

那么,这种广泛而强烈的对另一世界的追寻,会不会吸引那些原先想把自己的才干用于科学和数学的人们?这种蔑视物理世界,或是用巫术和神秘的手段来探讨这个世界的信念,会不会占据他们的心灵、耗费他们的心力?即便是如此,至少在基督教获胜之前,也是微乎其微的。事实上,古代世界中有些最伟大的科学著作就完成于罗马帝国的最初几个世纪里,其时的基督教还比较虚弱并缺乏影响力,只能在与众多对手的竞争中求生存。这些著作一般都是用希腊文写成的,其中少数将对中世纪科学的后期乃至文艺复兴时代产生深远的影响。

公元 1 世纪,亚历山大里亚的希罗(Hero of Alexandria)论述了气体力学、力学、光学和数学,尼科马科斯(Nicomachus)阐述过毕达哥拉斯算术,狄奥多西和墨涅拉俄斯(Menelaus)写了球面几何方面的著作(墨涅拉俄斯《球面几何学》对球面三角和三角几何的处理极

有价值)。这一发展在2世纪达到顶峰,托勒密的《天文学大成》[1](*Almagest*)是16世纪哥白尼时代之前天文学史上最伟大的论著,他还在光学、地理学、立体投影方面写出了高度专业性的著作,甚至所有占星著作中最伟大的一部《四部书》(*Tetrabiblos*)——在拉丁世界称作为分四个部分的著作,也是他的作品。在医学和生物学方面,帕加蒙的盖伦(Galen of Pergamum)以其兼容理论和实践两个方面的大约一百五十部著作,奠定了16、17世纪之前医学理论和研究的基础。甚至在3世纪,数学方面也有重大进展。首先是丢番图(Diophantus)在代数方面作出了重要贡献;其后帕普斯(Pappus)在他的《数学文集》中显示了高度的创造力和鉴赏力,他还翻译了希腊古代的伟大数学著作。这些成就是在3到4个世纪中慢慢取得的,这也是希腊科学发展和进步的典型方式:就靠若干个中心的一小批研究人员。古希腊科学是一个脆弱的机体,但只要智力环境适宜,或者至少不是公开对抗,它就能保护自身并取得进展。

随着4世纪基督教的胜利,无论在帝国东部还是西部,像前几个世纪那样力图理解、提高和维持一个高水准的理论科学遗产的那么一小批素质娴熟的人也没有了。(由于东罗马仍使用希腊语,人们还可以用原来的语言阅读一些科学论著,因而在理解能力方面比西半部要高得多,但创造的火花已经熄灭。)至500年,基督教会攫取了绝大多数有才华的人来为它服务,包括传教、组织管理事务、教义探讨及纯粹的思辨活动,荣耀不再来自客观和科学地理解自然现象,而是来自实现教会的目标。

对异教学术和信仰的激烈攻击,是基督教长期斗争的典型标记,这给希腊哲学和科学罩上了猜忌的黑幕。在它达到胜利的顶峰

① 这是公元140年前后的作品,译法不一,《辞海》中译为《大综合论》,阿拉伯文Almagest有至大的意思,此处采用《中国大百科全书》和《简明不列颠百科全书》中的译法——译者注。

时，基督教以恐惧不安的情态——若不是明显的敌视的话——俯视着它的失败敌手。但基督徒在这件事上并不是铁板一块，极端反动的代表是特图连（Tertullian，约160年—约240年），他把哲学家视为左道邪说的供应商，对他来讲，雅典和耶路撒冷之间的任何关联都是不可思议的。或许更富于代表性的是像查士丁·马特尔（Justin Matyr，约卒于163年—167年）和亚历山大里亚的克雷芒（Clement of Alexandria，约150年，卒于215年之前）一类的人物，他们把希腊学术和哲学当作神学的婢女，只把它们用于更好地理解基督教信仰，而不是为了它们自身的目标。正如哲学已为希腊人接受基督教及基督的完满性作好了准备一样，它也可以同样好地用来完成别的目的。基督徒的两难处境典型地体现在圣·奥古斯丁身上，在整个中世纪中他的影响是巨大的。公元386年，他强调了自古典希腊时代以来就包括几何、算术、天文和音乐四门学科在内的人文学科（liberal arts）的重要性，这些传统学科有利于导向更好的生活，对正确地理解宇宙也是不可或缺的。奥古斯丁甚至仔细考虑过一部人文学科百科全书的编排体系，其中包括上面提到的科学课目的章节。这个计划他只完成了一小部分，或许是因为在晚年他对异教及世俗学术的态度有着急剧的转变之故。在他临死之前的几年内，他痛苦地抱憾早年对人文学科的重视，并下结论说，理论科学和机械工艺对基督徒毫无用处。

尽管怀着对异教学术（科学和哲学是其中不可分割的部分）潜在危险的担忧与恐惧，环境已迫使他们作出艰难的妥协。事实上唯一可用的世俗学术都源于异教，无论是基础的还是高等的教育机构都充斥着异教的信仰、哲学、神话和文学方面的书籍，语法、修辞课本中的注释完全摘自异教文献。凡接受了正规世俗教育的基督徒不可避免地要吸收大量传统的非基督教精神食粮。教会不得不修改对待异教学术和科学的态度，以摆脱自己的不安。确实，为解释《创世纪》（*Genesis*）中的创造，基督徒必须为这个世界提供一种物理

解释手段,4 世纪开始出现的大量六部韵文献(对六天创世的注释),可以证明这一点。到了 5、6 世纪,一些基督徒开始表现出对科学的兴趣。我们现在必然要问,他们可以利用哪些科学文献并能从中获取它们的知识和见解呢?

在古代晚期,另一个过程强化了社会势力对削弱科学兴趣的作用。这个过程明显可以上溯到希腊化时代(公元前 320 年一公元前 30 年),并以不衰之势贯穿基督纪元的头 5、6 个世纪。这个过程之后的情形是不言而喻的。我指的是工具书和百科全书的学术传统,它的目标是普及和传播希腊科学的理论和成果,而不是希腊科学的专业性内容或方法。

亚里士多德代表着古典希腊科学辉煌成就的顶峰。希腊化时代,科学在深度和广度上都得到了拓展,物理科学领域的欧几里德(Euclid)、阿基米德(Archimedes)、帕加的阿波隆尼[①](Appollonius of Perga)、喜帕恰斯[②](Hipparchus)与医学和生物科学领域的泰奥弗拉斯托斯(Theophrastus)、希罗菲卢斯(Herophilus)、埃拉西斯特拉图斯(Erasistratus)并驾齐驱。我们已经说过,这个水准上的工作一直持续到公元 4 世纪,但如同我们今天一样,当时必定有一大批受过教育的听众,他们对物理世界极感兴趣,但并不怎么爱好,也没有能力在最高水准上开展令人生畏的理论性研究。为满足这批人的要求,一大批科学普及者首先简化各门科学的专业性成果,然后编入工具书之中。毫不奇怪,这些文献中充满了互相矛盾的说法,读者只能根据自己的水平去判断。

希腊人中,奠定工具书传统的关键性人物有博学的居勒尼的埃拉托色尼(Eratosthenes of Cyrene,约公元前 275 年一公元前 194 年)和

① 又译阿波洛尼乌斯——译者注。

② 又译希帕克——译者注。

莫洛斯的克拉特斯(Crates of Mallos),特别是波塞东尼奥[①](Posidonius,约公元前135年—公元前51年)。埃拉托色尼为这个传统添进了大量的地理知识;波塞东尼奥的大量著作没有保存下来,但他对气象学、地理学、天文学及其他科学的见解被收入在后期工具书之中,并成为这个传统中永久的一部分。按照波塞东尼奥方法继续工作的其他希腊人,有革米努斯(Geminus,约公元前70年)、克莱奥麦德(Cleomedes,公元1、2世纪)、司米那的塞翁(Theon of Smyrna)。克莱奥麦德写了一本天文学和宇宙学著作《论天体的圆周运动》;塞翁写了《理解柏拉图所需的数学知识手册》,这部著作像柏拉图的《蒂迈欧篇》(*Timaeus*)一样,以整个宇宙为讨论对象,并吸收了希腊化时代的天文学、宇宙学以及毕达哥拉斯算术和数学知识。从希腊化时代到中世纪早期,对柏拉图《蒂迈欧篇》的注释构成了这个传统的重要部分。既然《蒂迈欧篇》是一部不仅讨论宇宙,而且讨论人的物理结构和功能的科学论著,它自然成为包括物理学和生物学内容在内的百科全书式著作的绝妙载体。

公元前第2和第1世纪,作为征服希腊的结果,罗马绅士开始接触希腊文化,希腊的工具书传统被牢固地确立下来,它的文献被巧妙地改编以迎合罗马文化的口味。尽管罗马人对希腊的智力成就抱有敬畏之情,他们对理论和抽象科学却没有什么兴趣。因此,当时尚要求有教养的罗马人对希腊的科学成果点头称道时,工具书方法很自然地就流传开来了。无疑,一些懂希腊文的罗马人可以直接参照希腊的百科全书,但绝大多数人只能从拉丁译本中吸取他们的知识。不久,罗马人开始编纂自己的科学工具书。毫不奇怪,这些书肯定比希腊同行的书逊色得多。

拉丁百科全书传统实际上发端于公元前1世纪的马库斯·特伦图斯·瓦罗(Marcus Terrentius Varro,公元前116年—公元前27年),它

---

① 又译波昔东尼——译者注。

的最突出的两个早期代表人物是塞涅卡(Seneca，卒于 68 年)和老普林尼(Pliny the Elder，公元 23/24 年—79 年)。塞涅卡的《自然问题》仿照亚里士多德的《气象学》,着重关注地理和气象现象(例如,雨虹、晕圈、流星、雷鸣、闪电),他大量利用了亚里士多德、波塞东尼奥,泰奥弗拉斯托斯(或许是他的最大权威)以及其他希腊作家的资料。因为塞涅卡频繁地从自然现象中引申出道德寓意,他的著作大受基督徒的欢迎。还有一个极端重要的事实是,它带给中世纪一个地球尺度的估计;按此估值,地球小得足以激励像哥伦布一类人认为海洋窄得足以轻易地穿渡。在这本书的一个注释中,塞涅卡预言,持续的研究将揭示自然奥秘,这是对科学和知识进步的一个极为乐观的见解。

普林尼的 37 卷《自然史》是一本详细备至的剪刀加浆糊式的文集,按他自己的估计,他翻阅了 100 位作家的 2000 卷著作。第一卷中,普林尼列出了该书主题的详细纲要和一个为随后 36 卷服务的完备的典籍目录。因此,他确实是在赞誉而不是抄袭他的前辈。在提到的 473 位作家中,约有 100 位是原作者,余下作家中有些是间接得知的,有些只是因用到他们的一鳞半爪资料而被提到。第 2 卷讨论的是宇宙志;第 3 卷至第 6 卷为区域地理;第 7 卷讨论人类的繁衍、生命和死亡;第 8 卷至第 32 卷为动物学、植物学,包括传说中的动物以及动植物的药用价值;第 33 卷到第 37 卷为矿物学。

作为一个不知疲倦的编纂者,普林尼强调自然现象中的奇异行为。尽管混乱、误解和前后矛盾比比皆是,最差劲的部分还是他对希腊理论科学所作的贸然解释。这方面普林尼几乎不懂。

纵然普林尼的著作是混乱的并且经常前后矛盾,但至少它还是艰苦努力的结晶;他诚恳地敬重那些为自己永不满足的磨坊提供谷物的古代作家。除了几个显著的例外,他的后继者很少有他的出色本领;在他们的编纂中,剽窃和难懂已成典型特征。索利诺(Solinus,生活于3、4世纪)所编的《显著事实汇集》(*Collection of Remark-*

able facts)中,最显著的事实是他大量抄袭普林尼,而索利诺的著作又被后继者完整地抄袭,以致今天的学者常常无法确定后继者的见解是出自普林尼还是索利诺。百科全书作家视可资利用的工具书为公共场所一间资料贮藏室,为自己的目的他们可以任意摆弄或盗窃其中的物件,而最终的产品却被炫耀为直接源自原始资料的富于学识的文献。像柏拉图、亚里士多德、阿基米德、欧几里德、泰奥弗拉斯托斯这些伟人的科学著作和识见在百科全书中一遍又一遍地被利用,似乎编纂者直接熟悉这些著作。然而,在几乎所有的场合,他们对这些伟大的科学作家并无直接的了解,而仅仅是重复——更可能是歪曲——早期编纂者对他们的前辈所做的重复和歪曲。这一点明显得令人痛心。

自4世纪到8世纪,百科全书作家写出了一系列拉丁文著作,这些著作对整个中世纪(特别是1200年之前)产生了巨大的影响。这群作家中,最重要的有查尔西图斯(Chalcidius)、麦克罗毕乌斯(Macrobius)、马提努斯·卡佩拉(Martianus Capella)、波伊提乌(Boethius)、卡西奥多鲁斯(Cassiodorus)、塞维利亚的伊西多尔(Isidore of Seville)和可敬的比得(Venerable Bede)。查尔西图斯(大约活跃于4世纪)将柏拉图《蒂迈欧篇》的大部分译成了拉丁文,并加了一个注释,注释中的天文学部分抄自塞翁的《手册》。麦克罗毕乌斯(活跃于公元400年)是一位新柏拉图主义者,他将百科全书式学问包入对西塞罗《西比欧之梦》的注释中,《西比欧之梦》实际上就是西塞罗《共和论》的第六册。卡佩拉(活跃于410年—439年)的《语言学与信使的联姻》是古典学术和智慧的暗淡反光,这本书大受欢迎,它对七艺作了一个浮华的说明。波伊提乌(约480年—524年)是最好的拉丁百科全书作家之一,拥有良好的希腊知识,他写了《四艺》(*quadrivium*,是他为七艺中四门数学学科所起的专名),但只有音乐和毕达哥拉斯算术两部分的论著保存了下来,其中算术部分是尼科马科斯(Nicomachus)《算术导论》的意译。此外,他还翻译了

亚里士多德的部分逻辑学论著，或许还译了欧几里德《原理》（*Element*）以及阿基米德的未能流传下来的非专业性著作。他对自己所译的某些哲学文献的注释，以及他的著作《哲学的慰藉》，都产生过很大的影响。《哲学的慰藉》这部名著是一位死囚犯的狱中之作[①]。卡西奥多鲁斯（约 488 年—575 年）的《圣俗知识导读》包括了论述七艺的章节，在引证权威时他相当谨慎。塞维利亚的伊西多尔（约 560 年—636 年）除了《论事物的本性》这部论著外，还编纂了一部大型百科全书《词源学》（二十卷），前三卷着重讨论七艺，余则专论医学和动物学。可敬的比得（约 673 年—735 年）是最富知识的拉丁百科全书作家之一，除了一部传统的百科全书《论事物的本性》外，他还写了两部论著《论时间的分割》和《论时间的计量》，这两本著作关心历书推算，并考虑了诸如年代学、天文学、历法计算、复活节表和潮汐这样一些问题。尽管他大量借用了他的前辈，特别是伊西多尔，比得却能把这些巧妙地纳入自己那贫乏的家产。例如，他杜撰了“港口的设置”这个概念，并观察到在沿海岸线一个特定位置，潮汐在大致同一时刻重现，尽管潮汐来临的时间各地不同。

这些著作加在一起，实际上包容了早期中世纪的全部科学知识。在希腊和阿拉伯科学传来之前，后继作家所遇到的正是这么一大堆零乱混杂、自相矛盾的东西，其上任何新东西都不能生长。作为这种混乱的一个例证，让我们考虑一个天文学问题，这个问题涉及太阳、水星、金星的运动和行星的固定次序。到公元前 4 世纪，已经观测到，水星和金星作为晨星或晚星而出现，离太阳的角距离不大于 27°和 49°左右，而火星、木星、土星在各种角距离都可以观测到。为解释这些天文学事实，旁托斯的赫拉克利德（Heraclides of

① 波伊提乌在 520 年后，以通敌罪名被判死刑，524 年被处死。他在狱中写的《哲学的慰藉》，基本上以柏拉图思想为立论根据，他认为确实存在着最高的善，它严格而亲切地控制着全宇宙。——译者注。

Pontus，约公元前388年—约公元前310年）争辩说，火星、木星、土星直接以地球作为它们转动的自然中心，而水星和金星则不然，它们是较低级的行星，直接绕太阳，因而也绕地球转动（见图1和2）。

在17世纪，当第谷·布拉厄（Tycho Brahe）推广这个理论并假设所有的行星都绕太阳做圆周运动，而太阳又绕地球每年转动一周时，它又被拿来作为哥白尼日心体系的有力对手。显然，赫拉克利德的理论在天文学史上有着潜在的重要性，因为它与亚里士多德宇宙学存在重大分歧。在亚里士多德宇宙学中，所有行星运动都以地球作为它们的自然中心。确实，赫拉克利德的理论还否定了行星相对于地球有唯一固定的次序，因为有时次序是：太阳—水星—金星（图1），有时则是：金星—水星—太阳（图2）。

赫拉克利德体系的知识已根据四位拉丁作家而得到重建。他们中的三位是百科全书作家，查尔西图斯（唯他提到赫拉克利德的名字）、卡佩拉，或许还有麦克罗毕乌斯。尽管他们明显地接受赫拉克利德体系，却又都讨论行星的固定次序，这等于预先肯定了太阳、水星、金星有一个不可变更的次序。麦克罗毕乌斯更偏爱柏拉图的安排（地球，月亮，太阳，金星，水星，等等），而不是西塞罗的安排（地球，月亮，水星，金星，太阳，等等），全然忘却了两者都与水星和金星绕太阳运动不相容。类似地，卡佩拉在一篇完全采用赫拉克利德体系的文章中（为此他受到了哥白尼的称颂），也提出了两个

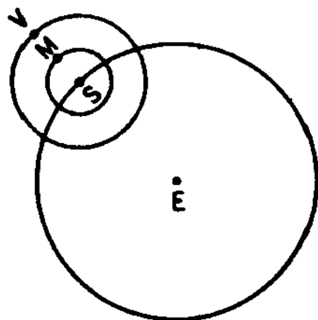


图1

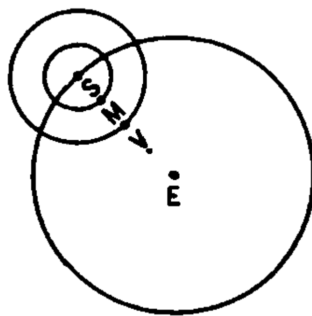


图2

传统对立的行星固定次序。这类自相矛盾可能与日俱增,它明白无误地表明了百科全书作家在不断重复他们很少理解的资料时发生混淆的频繁程度。

四艺或四门数学科目

纵然理解水平低下,但是早期中世纪科学的内容到底是些什么?如果有什么可以作为科学知识的核心的话,它应当在七艺中的四艺内找到。确实,由四门数学学科(算术、几何、天文学、音乐)构成的四艺由拉丁百科全书作家给出了最终的浓缩形式。对四艺的各种说明中,最流行的也最有代表性的是塞维利亚的伊西多尔编纂的长卷《词源学》(*Etymologies*)。正如标题所暗示的,伊西多尔经常关心关键术语的词源学衍变,他相信凭术语起源的知识就能表达对事物的本质和结构的深刻认识。

由于注意到算术对正确理解圣经奥秘的重要性,伊西多尔考虑把数分成奇数和偶数两类,每一类又可再作各种细致的划分。他大量利用了卡西奥多鲁斯的著作,而卡西奥多鲁斯又摘自尼科马科斯的《算术导论》一书的冗长的波伊提乌译本。伊西多尔阐明了毕达哥拉斯学派关于数的各种定义,包括盈数、亏数、完美的数(一个数的各因子之和大于、小于或等于数自身)以及离散的数、连续的数、线数、面数、圆数、球数、立体数。若再加上由尼科马科斯区分的五类比例,实际上就是伊西多尔算术的全部内容。除了这一大堆毫无用处的定义,读者得不到一丝益处。只要与欧几里德《原理》(卷7—卷9)比较一下,就知道算术跌进了怎样的深渊。

伊西多尔对几何比对算术叙述得还少。一开始他就将几何奇怪地分成平面图形、数值大小、比例尺度、立体图形四部分,随之以对点、线、圆、立方体、圆锥、球、四边形以及少量相关形体的定义作了归纳。他把正方体定义为"一个由长、宽、厚限定的正则的立体

图形”，这个定义适合任何立体（欧几里德定义为“由六个相等正方形包围的立体图形”）；他把四边形定义为“由四条直线组成的平面上的一个正方形”，这等于说所有的四边形都是正方形！①

四艺中最长的部分是天文学（音乐，像几何学一样，由一系列简短的定义组成）。伊西多尔用描述性而非专业性的表达方式，考虑了天文学和占星学的区别，以及宇宙、日、月、行星、恒星、彗星的一般结构。在伊西多尔的这部分讨论中，我们可以找到如下一些论点：由火组成的太阳大于地球和月亮；地球比月亮大；太阳除日运动外，还有一种自身的运动，并日落于不同的位置；月亮接受太阳的光线，当地球的阴影置于日月之间时便发生月蚀；行星有它自身的运动；恒星在天空中固定不动，它们被天球带着转动，尽管恒星分布在离地球不同的距离上，这是对观察到的恒星不同亮度的推论。伊西多尔相信，一些更遥远更小的恒星实际上比我们观察到的亮星大。它们的表观的小仅仅只是距离远的缘故。伊西多尔大概不会想到，需要有一个无穷厚而透明的球体来安置分布于不同距离上的大小不同的恒星。伊西多尔的天文学，尽管大部分只是些基本的和简略的细节，却是他论述四艺最出色的部分。

毕竟，伊西多尔以及他的百科全书学派同行力图保护和理解古代科学的零散遗物，为此我们应该感谢他们。但无须否认，科学的黑暗时代已经笼罩着西欧。

① 此处对 Ernest Brehaut 译的《黑暗时代的百科全书》（*An Encyclopedist of Dark Ages*）的译文作了适当改动。——原作者注。

第二章
黎明的曙光和翻译时代：公元1000年—1200年

如果不深入到希腊科学的坚实核心，西方世界就不会超出拉丁百科全书作家的水平。8、9世纪正当阿拉伯人着手将大批希腊科学论著译成阿拉伯文并给这批遗产添砖加瓦的时候，而且当使用希腊语的拜占廷帝国仍在阅读和研究希腊科学的时候，摆在西方面前的只有粗糙的百科全书式科学。到公元500年，希腊的知识已变得极为稀少，专业的科学知识更是微乎其微。除了一些零星的翻译——这些翻译往往还未流传就被毁了——并没有给当时的主流百科全书传统添加新东西。在西欧强烈感到要从邻域文明和文化中汲取新的知识之前，首先他们必须被唤醒，从而激发出对科学和自然的新兴趣。正如科学史上经常发生的，完成这种重大使命，个人往往起着关键的作用。

在10世纪晚期，奥里亚克的热尔贝（Gerbert of Aurillac，约946年—1003年），后来成为教皇西尔维斯特二世（Sylvester Ⅱ）的一个法国人，利用同西班牙北部教会接触的机会获取了少量阿拉伯文献的拉丁译本，从中他学会了使用算盘和星盘，并写了一篇珠算论文，或许他还论述了星盘。他的著作牢固地落入拉丁传统之中。热

尔贝并不是一个原创性的思想家，他后来的影响主要来自他作为一个科学教师的能力。972 年—989 年，他在瑞姆斯教会学校教授七艺，强调极其基础的数学和天文学。教学中他大量借助于视觉形象。热尔贝在一个智力剥夺的时代获得了伟大教师的殊荣是应该的。他不仅解释了如何建造一个球体来代表天空，实际上还建造了一个星球的运动模型，用固定在球面上的线来描绘恒星位形的轮廓。他的学生被他的天才和献身精神所震撼，以极大的热情继承拓展了他的教学工作，他们强调科学是人文学科中一个不可分割的部分。教会学校在 11、12 世纪崛起，并取代寺院学校而成为学术中心。这些教会学校大都是由他的学生创建的，或者是因他们而发展起来的，他们中最杰出的有拉昂的阿德伯龙（Adalberon of Laon）、奥塞尔的约翰（John of Auxerre），尤其是沙特尔的富尔贝尔（Fulbert of Chartres）。由他的学生创建或因他们而成熟的教会学校有科隆（Cologne）、乌得勒支（Utrecht）、桑斯（Sens）、康布雷（Cambrai）、沙特尔（Chartres）、拉昂（Laon）、奥塞尔（Auxerre）和鲁昂（Rouen）。直到 12 世纪晚期大学出现之前，这些学校[①] 一直是西方最重要的学术中心。

这种学校环境培育了对世俗问题和科学问题的智力兴趣。1025 年前后，科隆学校的拉吉姆伯德（Ragimbold）和列日（Liège）学校的鲁道夫（Radolf）进行了一次极不平常的学术交流，他们相互交换过八封讨论数学问题的信件，这足以证明当时对世俗和科学兴趣的鼓励。由鲁道夫发起的一系列数学问题被提了出来，答案不仅在两个通信者之间传递，而且还交给了评委们（他们是这场科学竞赛的仲裁者）。由于对希腊和阿拉伯数学的无知，他们的几何学知识可怜得很，唯依赖于罗马的综合工具书中的，或归在波伊提乌名下的粗糙的几何论文中的，以及真正的波伊提乌的文章中的少数几何学

① 这些学校分布于今日西欧法国、荷兰、比利时和德国境内，其中拉昂、奥塞尔、沙特尔桑斯、康布雷和鲁昂在法国，科隆在德国，乌特勒支在荷兰境内。——译者注。

珍品。对几何证明,他们闻所未闻。另外,我们也发现他们对三角形内角、外角的讨论混乱不堪。鲁道夫曾请拉吉姆伯德计算两倍于给定正方形面积的正方形的边长,这是鲁道夫从波伊提乌对亚里士多德《范畴篇》注释中抽出的一个问题。尽管两人都知道大正方形的边是小正方形的对角线(见图 3),我们的竞赛者并没有意识到两个正方形边长之比不可能是像 17/12(拉吉姆伯德之比)或 7/5(鲁道夫之比)这样的整数之比,因为两个边是不可公度的,因此只能是一个无理数,这里是$\sqrt{2}/1$。比起低水平理解,用这种方式发起数学竞赛本身更为重要,它标志着对科学问题的兴趣在增长,一百年前这几乎不可能发生。

日益增长的智力追求引起了对古代作品的巨大兴趣。

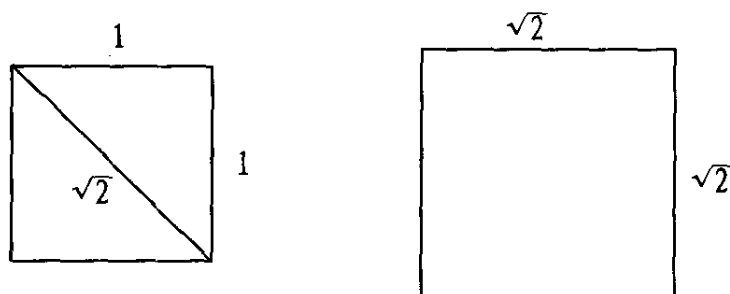


图 3

这里仅举一例,柏拉图的《蒂迈欧篇》被深入细致地钻研并被沙特尔的新柏拉图主义者用来解释宇宙的结构。当他们发现古代作品使他们受益无穷时,对古代智慧的尊敬近于崇拜的程度。如果说他们有可能拓宽自己的知识视野,这只是由于他们有幸站在古代博学巨匠的双肩之上,沙特尔的贝尔纳(Bernard of Chartres)的这个说法在后世常被引用,甚至发现在艾萨克·牛顿的一封信中。但这些古代伟人的著作要么找不到,要么也只是些残篇断简。11 世纪和 12 世纪早期,当对学术、特别是科学和哲学的兴趣增强时,贫乏的传统学术已成了破旧的玩具。希腊或阿拉伯文献,西方仅知道标题甚或一无所知。这更加强了一种匮乏感。西方世界的学者不愿再忍受

智力停滞状态，他们开始采取直接的行动去获取往日的科学遗产。随后的大量翻译，在西方科学史或一般智力活动史上，形成了一个真正的转折点。

10世纪中叶，西班牙北部比利牛斯山脚下圣·玛丽亚·德黎波（Santa Maria de Ripoll）修道院已开始将阿拉伯文献译成拉丁文。这些翻译着重于几何学和天文学仪器方面，热尔贝或许直接知道这件事。11世纪，赖谢瑙[①]的赫尔曼（Hermann of Reichenau）已了解阿拉伯星盘。非洲人康士坦丁（Constantine the African）这位与意大利南部萨莱诺医学中心相联系的模糊且略带阴影的人物[②]将希腊和阿拉伯作家的医学论文从阿拉伯文译成了拉丁文。但革新西方科学思想并决定其后几个世纪科学命运的翻译活动发生在12世纪。1125年—1200年之间，一个真正的翻译浪潮将希腊和阿拉伯科学的重要部分译成了拉丁文，13世纪译得更多。自9世纪及10世纪早期大量希腊科学被译成阿拉伯文以来，科学史上没有任何事件可与之媲美。

翻译的伟大时代紧接11世纪穆斯林在西班牙的溃退以及他们在西西里的彻底失败。随着基督徒1085年攻陷托莱多和1091年占领西西里，一个充满活力的基督教欧洲开始成为阿拉伯学术的伟大中心。阿拉伯文书籍随手可得，智力饥渴的欧洲人热切地把它们译成西欧学术的通用语言——拉丁文。翻译者来自欧洲的各个地方，他们与土生土长的西班牙人携手并进，把阿拉伯文的专业性科学和哲学论著译成对这些内容几乎一无所知的语言。杰出翻译家的鼎鼎大名展示了这项伟业的国际性，他们有：蒂沃利的柏拉托

① 位于德国——译者注。

② 关于他的生平与著作，并不十分清楚。活跃于1065年—1085年之间。他的著作中原作与译作没有一条分明的界线，一切为了实际的或教学的需要。其最有声望的著作 *pantechne* 无疑译自阿拉伯作家 Haly Abbas 的 *kitāb al-māliki*，却未署上原作者的名字，为此一再受到后世作家的指责。故作者用了阴影人物（Shadowy figure）一语。——译者注。

(Ploto of Tivoli),克雷莫纳的热拉尔(Gerard of Cremona),巴斯的阿德拉德(Adelard of Bath),切斯特的罗伯特(Robert of Chester),卡林西亚的赫尔曼(Hermann of Carinthia),多米尼克会(多明我会)修士冈底萨沃(Gundisalvo of Dominicus),彼特·阿丰索(Peter Alfonso),萨瓦索达(Savasorda),塞维利亚的约翰(John of Seville);还有13世纪早期的英国人阿尔弗雷德(Alfred Sareshel 或 Alfred the Englishman),米歇尔·司各特(Michael Scot)和德国人赫尔曼(Hermann the Germann)。[①]

在西班牙各翻译中心中,托莱多首屈一指。无论什么地方,翻译以各种方式进行着。如果译者懂阿拉伯文,他就直接翻译;如果不懂,他可能就与一个阿拉伯人或犹太人合作。有时还有这样的情况:如果他懂西班牙文,他可能就雇一个人将阿拉伯文译成西班牙文,他自己再将西班牙文译成拉丁文。一部希腊原著偶尔还从多种语言转译成拉丁文,比方说,从希腊文到叙利亚文,再到阿拉伯文、西班牙文,最后才到拉丁文;或者先将阿拉伯文译成希伯来文,再译成拉丁文。经过多次转译而成的拉丁文本几乎不可避免地存在着严重的曲解。

尽管12、13世纪的翻译集中于科学和哲学著作——人文著作及纯文艺作品几乎未被提及——翻译著作的选择常常是随意的。在确定一部著作是否翻译时,是否易得、是否简洁常常是决定性的因素,真正有价值的文献往往被忽略,而一些次要的、甚至平庸的著作不仅被译了过来,而且还得到了深入细致的研究。由于译者分散于各地,相互之间几乎没有联系,重复劳动经常出现。尽管有这些重大弊端,总的成就给人以深刻的印象。一点不假,克雷莫纳的热拉尔(Gerard,卒于1187年)单独一个人的全部成果就可能完全改变西方科学的进程。他的学生在他所译的盖伦《医术》后面增补

① 蒂沃利和克雷莫纳在今日意大利境内,巴斯和切斯特在今英国境内,卡林西亚在奥地利,塞维利亚在西班牙。——译者注。

了一个他的小传和译作目录,以对这位最伟大的西方翻译家表示纪念,并让后人认识到他们受益于克雷莫纳学派而不是别人。杰拉德在将他能得的全部吸收进拉丁世界后,又去了托莱多搜寻托勒密的《天文学大成》,那时这本著作还没有拉丁译本。托莱多富饶的知识给热拉尔留下了深刻的印象,他进而学习了阿拉伯文,并翻译了《天文学大成》以及至少 70 多部其他文献。他还翻译了亚里士多德基础物理著作《物理学》、《论天》、《论生灭》、《气象学》第 1 卷至第 3 卷,以及亚里士多德的讨论科学方法的重要文献《分析后篇》。在众多的数学著作中,他译了欧几里德的《原理》、阿尔·花拉子米的《代数》和《三兄弟的几何学》,后者包括了阿基米德数学技巧,该技巧对后世产生了巨大影响。除了许多其他的天文学、占星术、炼金术和静力学著作外,热拉尔还译了大量医学文献,包括盖伦的许多著作,阿维森纳的《医典》和拉尔泽斯(Rhazes)的《包括一百五十四章的书》,这几本著作构成了中世纪医学研究的核心。仅仅热拉尔的成就就足以给人留下深刻的印象,若再加上前面提到的许多其他翻译家的成就,译事的业绩斐然可观。

从希腊文直接译成拉丁文的重要著作,尽管总数很少,毕竟还有一些。这种翻译活动几乎只限于与说希腊语的拜占廷帝国从未中断交流的意大利和西西里。12 世纪,南意大利和西西里的诺曼统治者在交流过程中汇集了希腊神学、科学和哲学文献。在西西里,柏拉图的《美诺篇》和《斐多篇》被译了过来(译者是亨里克斯·亚里斯提卜 Henricus Aristippus),同时翻译的还有托勒密的《天文学大成》,欧几里德《光学》、《反射光学》和《资料》以及一些亚里士多德的著作。埃米尔·尤金(Eugene the Emire)懂得阿拉伯文、希腊文和拉丁文三门语言,他将托勒密《天文学大成》从阿拉伯文译成了拉丁文。在北意大利,也有从希腊文到拉丁文的直接翻译,这儿,威尼斯的詹姆士(James of Venice)、比萨的布公图(Burgundio of Pisa)、贝加莫的摩西(Moses of Bergamo),这些名字都将流芳百世。然而,正如

在所有把阿拉伯文译成拉丁文的翻译家中,克拉莫纳的热拉尔高屋建瓴一样,莫比克的威廉(William of Moerbeke,约 1215 年—约 1286 年),一位佛兰芒的·多米尼克会修士,是所有把希腊文译成拉丁文的翻译家中最伟大的一位。他的朋友,圣·托马斯·阿奎那曾抱怨从阿拉伯文译过来的亚里士多德著作不够完备。受托马斯·阿奎那的鼓励,莫比克完成了除《分析前篇》和《分析后篇》之外几乎全部亚里士多德希腊文原稿的新译本。他还翻译了晚古一些最重要的希腊注释家,如阿弗洛底西亚的亚历山大(Alexander of Aphrodisias)、约翰·斐洛波诺斯(John Philoponus)、辛普利丘(Simplicius)、地米思图斯(Themistius)对亚里士多德著作所作的注释。1269 年,他翻译了阿基米德大量著作中除几本之外的全部及其重要的希腊作家的注释。文艺复兴时期的翻译家利用了这些译著。1503 年在威尼斯初版了阿基米德著作的拉丁译本,却没有声明这个译本是莫比克的功劳,当然也没给他以应有的赞颂。莫比克总共大约译了 49 部著作,内容涉及神学、科学和哲学。

如果没有 12、13 世纪这批翻译家小分队的辛勤劳动,不仅中世纪科学要成为泡影,17 世纪科学革命也几乎不可能发生。"新"科学是如此浩瀚,首先必须有一个吸收消化过程,这一过程实际上贯穿整个 13 世纪,接着来临的是一个精心修正和重大变革的时期,到 15 世纪早期,建筑在亚里士多德世界观之上的中世纪科学进入了全盛阶段。与此同时,在亚里士多德科学框架内,大量反亚里士多德的批判也已出现。经过 15 世纪和 16 世纪早期一段时间的相对停滞之后,经院科学遭受了激烈的批判,新的航程开始了,并一直驶向了科学革命的顶峰。然而,如果没有早期翻译家为西欧提供理论科学丰满的胴体,哥白尼、伽利略、开普勒、笛卡尔、牛顿这些科学巨匠,就很难有什么可以思考和反驳的了,也无法使他们集中注意重大的物理问题。17 世纪西欧所解决的许多激烈的争端和令人困惑的科学难题正是随着翻译而来到了西欧,其中有些问题是由中

世纪作家提出的，他们系统地评注了这批翻译而来的大量文献。在这批科学和学术文献中，亚里士多德的物理、哲学著作起着决定性的作用，这些著作包含了关于整个宇宙的详尽完备的科学观点，而西方对此却完全陌生。这些观点注定时而照亮时而又迷惑着中世纪学者，却始终主宰着中世纪学者的心灵。亚里士多德科学的影响以及后来对它的修正，正是后面几章要讨论的中心主题。

第三章
中世纪大学及亚里士多德思想的影响

到1200年，巴黎大学、波洛尼亚大学，或许还有牛津大学，是学术气氛浓厚的中心。尽管根本找不到13世纪之前的文献来阐明它们的兴起和早期发展的情况，但那时它们确实已建设得相当完备了。大学的自发出现与12世纪拉丁文翻译的新学术活动紧密相关。确实，大学是组织机构，西欧通过大学来归并、吸收并扩充卷帙浩繁的新知识，大学又是后代在智力遗产中进行耕耘播种的工具。巴黎大学和牛津大学作为科学和哲学的中心享有盛名，而波洛尼亚却以其法律和医学闻名于世。这三所大学，以及随后建立的大约八所大学（北欧仿照巴黎大学而建，南欧则以波洛尼亚为样板），确立了持续至今的大学模式。中世纪大学是硕士和学者两部分人的结合，按学科分成专业教师队伍（主要有文科（arts）、法律、医学和神学），在每一个学科内都针对学士、硕士和博士学位设置了必修课程。中世纪的大学，在古希腊、罗马人或阿拉伯人看来相当陌生，但对我们现代任何一所大学内的学生和教师来讲，却是熟悉不过的。12世纪晚期已经有了提供住宿的专科学院，在牛津和剑桥，学院是知识分子集中的基本单位。13世纪这种学院成倍增长（其中的牛津大学梅顿学院在14世纪注定会在中世纪的科学史中发挥

重大作用），到 1500 年，在各大学内总共建立了大约 68 个学院。

新学术的逐步引入，教会学校中内容贫乏的传统课程就显得陈旧不堪。传统的课程表维护科学、文学、人文领域之间的平衡分布。随着大学完全投入新的哲学和科学知识的怀抱，大学课程大幅度增加，新设置的课程表打破了传统的各学科之间的平衡分布。到 13 世纪中期，文科硕士学位（凡要在法律、医学、神学诸领域深造的人必须先获此学位）所要求的课程特别偏重逻辑和自然科学。亚里士多德的逻辑、科学和哲学著作这时成了核心课程。牛津、剑桥大学文科硕士学位必修的内容，并非如不熟悉中世纪的人所想象的那样，一门心思地主攻神学和形而上学。事实上正相反，逻辑（还包括语法学中大部分内容）、物理学（包括各种物理学变化）、宇宙学、天文学和数学基础，已成为课程的主要内容。所有文科学生实际上都学习相同的公共课。很明显，中世纪高等教育基本上以逻辑和科学的课目为主。逻辑和科学作为所有文科学生高等教育的基础是空前绝后的。

除了被仔细研究过的亚里士多德的逻辑学著作，他的下列科学论著也是头等重要的：《物理学》（8 卷），专论变化及一般运动的条件和原理；《论天》（4 卷），讨论天体及地上物体的运动；《气象学》（4 卷），描述并解释他认为发生在月球之下的地上区域的最上层的一系列现象（如风、雨、雹、闪电，甚至还有彗星、银河，他把这些视为气象学现象而不是天文学现象）；《论生灭》，论述四类基本物质之间的转化及与元素和化合物有关的化学变化。课程表还包括了亚里士多德论述生物学、形而上学、心理学、伦理学的文献。在天文学方面，最受欢迎的著作是佚名作者的《行星理论》，这部书大约写成于 1200 年，它包含一系列专门术语的定义；还有萨可罗波斯科（John of Sacrobosco）的《论球体》。在数学领域，欧几里德《原理》第 1—6 卷，是几何学课程明确要求的；波伊提乌《算术》和欧几里德《原理》第 7—9 卷是理论算术或数论的课本。算术运算（加、乘、

减、除)的熟练程度通过实用问题或实际的计算来测验,这类应用算术著作中,萨可罗波斯科(Sacrobosco)的《算法》最受欢迎。尽管从课程表中尚能得知当时天文学和数学课程所用的一些基础教材,但这些科目的课堂教学方式及这些课程实际内容现在则无从考证。

我们随后要提到或要加以讨论的大多数科学概念、理论和争论,都包含在这些标准教材的注释里面。注释的一种方式是对一本教材作系统全面的阐述。这种注释的方式是先列出教材中的一个段落或章节,随之加上注释者对其含义的诠释,偶尔还夹杂着注者自己的见解。托马斯·阿奎那对亚里士多德著作的注释主要就是采用这种方式。

采用设问的方式来处理标准教材是更加普遍更加重要的办法。尽管以设问的形式来提出科学问题古已有之(例如被误归于亚里士多德名下的《问题》和塞涅卡(Seneca)的《自然问题》),并且在 12 世纪再度显现(如巴斯的阿德拉德(Adelard of Bath)《自然问题》),到了 13 世纪又发展出一个独特的风格,在随后的 14、15、16 世纪实际上成了经院科学的化身。虽然有些问题变了,但许多问题一直流行了好多个世纪。巴黎大学著名的经院注释家萨克森的阿尔伯特(Albert of Saxony,约 1316 年—1390 年)所著的《关于八卷本亚里士多德物理学的问题》的第四卷中有一个典型的问题集,在他所考虑的 17 个问题中,我们找到以下 13 个:

1. 位置是不是一个表面。

3. 位置是不是不可动的。

5. 土的自然的或固有的位置是不是在水中或位于凹陷水面之内。

6. 月球天的凹(表面)是不是火的自然位置。

8. 真空的存在是不是可能的。

9. 一个重而简单的物体在向下运动时是否有一个内阻力;类似地,一个轻(而简单)的物体在向上运动时是否有一个内阻力。

10. 一个阻滞媒介对重或轻物体的任一运动是否都是必需的。

11. 假如存在一个真空、一个重物体能不能在真空中运动。

12. 假如存在一个真空，一物体能否在真空中以固定的速度受动而作局部的或变化的运动。

13. 浓缩或稀释是不是可能的。

为回答这类问题，经验注释家提出了一个正规的论证程序，它是从大学内的口头争论中演化而来的。问题的阐明总会伴随着一个或多个或肯定或否定的答案。如果作者开始赞同肯定的观点，读者大概会猜到作者最终会采纳否定的态度；或者相反，如果作者起初提出否定的看法，读者就有把握说作者最后会为肯定的命题进行辩护。这些先提出随后又被驳斥的见解被称为“基本论点”。列出基本论点后，作者再描述他的论证程序，或许还会进一步对问题加以明确、限定，或者对其中特殊术语作些定义和解释。这时他就准备提出他自己的常是用一个或多个精致的推论或命题来表达的见解。偶尔作者还站在他人的立场上，对自己的推论提出疑问，随后又一一对这些疑问释疑，最终他再回答每一个基本论点，由此正式排除相反的观点再结束问题的讨论。绝大多数问题重复累赘，缺乏想象力，这一点诚然不假，但我们更应该注意到，大批杰出的学者，如奥康[1] 的威廉（William of Ockham）、让·布里丹[2]（John Buridan）、尼古拉·奥里斯姆（Noicole Oresme）和萨克森的阿尔伯特（Albert of Saxony），发觉这种严格的文体是解释亚里士多德著作并促使物理学和宇宙学背离亚里士多德驶向新航线的方便之轮。

亚里士多德著作是中世纪教育和智力活动的中心，13 世纪大部分时间内神学家对他的哲学和科学著作抱着怀疑与敌视的态度。确实，在这个世纪晚期，神学家对亚里士多德及其忠实门徒的态度

---

① 又译奥卡姆——译者注。

② 又译琼·比里当——译者注。

不仅深刻影响了中世纪哲学的进程,似乎还影响了科学讨论的性质和内容,虽然后一点难以觉察。对亚里士多德的担忧来自他的自然哲学著作,因为这些著作中含有颠覆基督教信仰和教义的断言和观点。在他的明确的结论中,如下几点对基督教威胁最大:(1) 世界是永恒的——这有效地否定了上帝的创造行为;(2) 一个偶性或属性不能离开实体而存在——这与圣餐学说相抵触,按圣餐教义,面包和酒的整个实体转化为基督的躯体与血液的实体后,面包和酒的可见偶性依然存在,尽管这些属性不存在于任何实体之中;(3) 自然的过程是规则的,不可改变的——这排除了奇迹;(4) 灵魂并不比肉体活得更久——这否定了基督教灵魂不朽这一根本信仰。更进一步,亚里士多德哲学通过否定柏拉图理念说和有时创造说(Creation in time),有效地否定了奥古斯丁的标准教义。按照奥古斯丁的教义,上帝永远知道"他"终将创造的一切。

麻烦很快就来了。1210 年,刚出版亚里士多德哲学著作的拉丁译本不久,桑斯地方宗教会议发布命令,在巴黎禁止阅读亚里士多德的自然哲学著作及其注释,公开的和秘密的都不行,否则将受到开除教籍的惩罚。1215 年又针对巴黎大学重申了这一禁令。1231 年 4 月 13 日,该禁令经过修改获得了教皇格列高利九世(Gregory Ⅸ)的许可。格列高利在一篇有名的教皇训谕《教牧法规》(由于别的原因,它常被称为巴黎大学的大宪章)中,要求清除亚里士多德著作中带有冒犯性的错误观点。为此目的,他在 4 月 23 日指定了一个三人委员会。由于一些至今尚不清楚的原因,该委员会并没有呈送过一份报告,纯洁亚里士多德著作的命令也根本没有履行,虽然英诺森四世(Innocent Ⅳ)在 1245 年荒谬地将这个禁令扩展到图卢兹大学。几年以前(1229 年),这里还向大批硕士和学士发出了邀请,因为在这里可以公开阅读和讨论那些已在巴黎受禁的亚里士多德的著作。根据公认的少量证据,巴黎的禁令似乎维持了约 40 年。1255 年(至晚在这一年)之前,在巴黎似乎只能公开教授亚

里士多德的伦理学和逻辑学著作(物理学、哲学著作无疑私下有人阅读)。1255年开始,巴黎大学讲座课程的教材目录包括了所有能得到的亚里士多德著作。从此,压在巴黎学者头上的包袱终于丢掉了,此时他们拥有与牛津学者同等的特权,在巴黎受到禁令制裁的长期岁月中,牛津学者一直享有研究和注释亚里士多德著作的权利。

现在,随着公开研究渠道的开通,文科学生和教师对亚里士多德的自然哲学和形而上学展开了激烈争论,并且应用他的哲学分析方法来解决人类思考的一切领域内的问题。许多人追随阿威罗伊(Averroës)的注释,并把它作为真正的亚里士多德思想的指南,他们称阿威罗伊为"注释家",以表示对他的崇高敬意,就像他们称亚里士多德为"哲学家"一样。阿威罗伊严格区分了哲学和神学,他的基督徒追随者们也作了同样的区别。他们并不想去调和亚里士多德哲学与基督教信仰,而是力图表明:根据亚里士多德哲学的观点,世界的永恒,自然事件不可改变的规律,以及随13世纪神学诠释而变化的种种学说,要么是能够通过自然理性加以证明的,要么至少也不能否证。在亚里士多德的观点与宗教信仰发生冲突的地方,硕士们束手无策时,总是较多地服从信仰。例如,布拉本特的西格尔(Siger of Brabant,约卒于1285年),这位巴黎文科硕士声称他的志向就是解释与天启真理无关的亚里士多德的见解。他争辩说,与信仰相对立的哲学见解不能通过自然理性判断,然而,他又坚持信仰真理。同时代的另一个人,瑞典人波伊提乌(Boethīus of Dacīa or Sweden)并不承认启示超越于理性,他把自己完全献给了哲学,并以哲学为工具,把所有的论证都置于人类理性之下。波伊提乌认为,哲学家在探索物理世界及其原理时,只需也必须应用自然理性。按这种说法,可以确切地说,一个人不可能证明世界的时间开端或死后的复活,因为这完全是信仰的事情。尽管西格尔和波伊提乌没有支持"双重真理"说——一个在自然领域可能真的哲学命题,其反命

题在信仰领域能独立为真，他们代表了令神学家感到不安的潮流。神学家们也用亚里士多德哲学的语言、概念和论点来阐释神学教义，但他们对哲学家并不放心，尽管哲学家反复表示拒斥与信仰敌对的哲学证明。有些哲学家宣称，在表达某一与信仰相悖的哲学证明时，他们仅仅是在阐述亚里士多德的见解，而他们本人并未在上面签字画押以示赞同。托马斯·阿奎那对这些哲学家极为不满。

巴黎大学的文科硕士——未受神学训练的哲学教师，与神学家之间的紧张关系终于造成正面的冲突，一个基本的症结放置在两派之间：如果自然哲学真理为真，它们必定与启示宗教真理相矛盾；如果它们只是可能真，自然哲学——广义的自然科学，便是不可证明的，因而也不可能达到确定的真理。

1267 年，圣波拿文都拉(St. Bonaventure)对文科硕士相信世界是永恒的、全人类只拥有唯一的理性、达到不朽是不可能的等等见解加以强烈谴责。几年以后的 1270 年，巴黎主教禁止讨论直接来自亚里士多德著作或来自阿威罗伊注释中的 13 个命题。凡接受世界是永恒的、人类共有一个唯一的理智、天体对地面上事件制约是不可避免的、上帝除"他"自身而外一无所知等见解为真理的人，将受到开除教籍的处罚。1272 年，巴黎大学文科硕士被迫宣誓不去思考神学问题，一旦发觉思考神学问题无法回避，他们就得再宣誓坚持在信仰下解决所有这些问题。罗马的吉莱斯(Giles of Rome)所著的《哲学家的谬误》突出地表明了这种冲突的激烈程度，这本书写于 1270 年到 1274 年之间，吉莱斯搜罗了非基督徒哲学家亚里士多德、阿威罗伊、阿维森纳(Avicenna)、阿加扎利(Algazalī)、阿尔肯迪(Alkindi)和摩西·迈蒙尼德(Moses Maimonides)的一系列谬误。

罗列这些谬误对于 1277 年的爆炸性事件来说，还只是一个序曲。1277 年，教皇约翰二十一世(John XXI)，为充满火药味的智力骚动而忧心忡忡。为此他指示巴黎主教坦皮尔(Etienne Tempier)调查困扰巴黎大学的争端。坦皮尔做了调查。3 周内在诸多神学家

的劝告下,他总共谴责了219个命题,并发布了禁单。这些命题出处众多,有些还取自死于3年前的托马斯·阿奎那的著作。教皇默认了坦皮尔的行动:凡持有禁单中所列见解的人,哪怕仅持其中的一个,都将受到开除教籍的处罚。在该禁单的一篇严厉序言中,巴黎主教指责巴黎大学教员把背离信仰的错误只当成可疑的而不是当作谬误的来看待。按照主教的观点,明显倾向于双重真理说的那种人同样是有罪的,尽管他并未找到一个明确信奉该学说的人,他还是怀疑在文科学院教员中大有人在。这些人贸然声称可同时捍卫两个相悖的真理。他们说,一个命题为真,如果能从物理学和形而上学前提出发按照自然理性加以证明,尽管它在神学和信仰领域可能为假;而它的反命题,尽管按自然理性为假,却可以凭借信仰和教义而为真。

大量受谴责遭禁止的命题,包括1270年的13个在内,构成了信仰和观点的一个奇怪的混合体。这些信条、见解中,有些从未作过公开的书面表述,尽管在公开的口头论争或私下交谈中可能出现过。少数几个条目就会使我们明白,神学家对哲学家为何如此暴怒和敌视,如果如下论点广为流传的话:

152. 神学讨论立足于传说。

153. 懂了神学,什么也懂不好。

154. 世界上唯一有智慧的人是哲学家。

双重真理说被列在第90条,该条说:"一个哲学家应该绝对否定世界的新生(即创造),因为他依据自然因和自然理性。但信仰能否定世界的永恒性,因为信仰依赖于超自然的原因。"受谴责的命题取自阿威罗伊的有世界的永恒性(第87条),还有"没有最初的一个人,也没有最终的一个人;相反,永远是人类繁衍的后代"(第9条);和"使一个偶性离开主体而存在,是一个不可思议的并隐含着矛盾的断言"。(第140条)

许多命题都带有威胁冒犯的性质,因为它们是决定论的,因而

对上帝随意行为的能力施加了种种限制。这些命题之中，如下一些尤为值得注意（正如我们在后面将要看到的，第 34 条和第 49 条在 14 世纪科学论争中起着重大作用）：

21. 没有任何事的发生是偶然的，所有事情的发生都出于必然；凡将有的，必会有；将不会有的，不可能有。

34. 第一因（即上帝）不可能创造多个世界。

35. 除非作为一个父亲和一个人，上帝（单独）不可能造人。

48. 上帝决不会是一个新行动（或事物）的起因，他也不能造出什么新的东西。

49. 上帝不可能使宇宙（即天空和整个世界）作直线运动，因为这会留下真空。

141. 上帝不能使一个偶性离开主体而存在；也不能使更高的维数（大于三维）同时存在。

147. 上帝或别的动因不可能做那些绝对不可能之事——一个谬误，如果是按照自然来理解不可能的话。

既然自动开除教籍是对任何胆敢捍卫 219 个命题中任何一个为真的人的惩罚，1277 年禁单（The Condemnation of 1277）的影响是迅速而又持久的，它为神学家对哲学家（甚至某些神学家）断言神学教义的可证性而发起的强大攻势提供了炮弹。通过表明神学领域内某些哲学证明并不具有最终的确定性，神学家逐渐取消了亚里士多德派哲学家及一些神学家对上帝全能所作的限制。结果，接受神学教义和信条的唯一基础是信仰。在捍卫上帝全能的过程中，神学家不仅贬低哲学和哲学家，而且还利用哲学论证来表明：试图证明上帝能做或不能做什么，证明它的存在或特征都是徒劳之举。这一点是在找到知识标准之后才达到的。对知识标准的寻找最终产生了 14 世纪的哲学经验论和唯名论，奥康的威廉（William of Ockham，约 1280 年—约 1349 年）虽然不是发起者，但他使它结出了硕果。1277 年禁单和革除教籍的威胁所要达到的目的，在 14 世纪上半叶

通过哲学论证终于完成了。

奥康,这位天才的逻辑学家和哲学家,首先还是位知识渊博的神学家。按照他的观点,世界完全依赖于上帝不可捉摸的意愿。上帝,凭借"他"的全能,可以把世界变成另一个模样。由此推断出所有的存在都是偶然的,它们可以被造成其他模样,或者根本就不存在。上帝作为一个完全自由的动因能做任何不自相矛盾的事情,"他"能通过第二因或自然因创造一切,"他"也能不用中介直接地创造并保存下来。上帝无所不能,只要他愿意,他就能创造出没有实体的偶性,或没有偶性的实体;或者创造出没有形式的物质,或没有物质的形式。这些严密的神学思考透彻地反映出导致发布1277年禁单的神学精神。奥康基于这些严格的神学思考,而发展出一种认识论,即人们所称的激进的经验论。

他的经验论的最基本特征是这样一个信念:所有的知识都是通过"直觉认知"(Intuitive Cognition)而获自经验。奥康从邓斯·司各脱(Duns Scotus)那里借取"直觉认知"这个术语用来意指:心灵之外的客体,以及个人的心智状态,都是直接并迅速地被领悟的。一个人凭这种直接的领悟就能知道某个东西存在与否,而不需要任何证明——事实上也找不出任何证明——来表明用这种方式领悟的任何东西的存在。确实,即使一个客体不存在或不可接近,它也可能产生直觉认知,因为上帝自己可以直接提供认知的缘由,而不必采用通常的第二因来完成。两种情况下我们关于同一客体的经验是相同的。上帝甚至还能让我们相信:一个不存在的客体实际上已经存在。心理学上的确实性(Certitude)就这样被等同于建立在感官的"客观"证据基础上的确实性。虽然难以把奥康当成一个怀疑论者,他确实未能为区分这两种情况提供一个合适的标准,比方说可以使一个人把梦、幻觉与真实存在(reality)区别开来的一种标准。这一失败很容易导致怀疑的产生,他的许多后继者确实这么做了。

奥康从这个经验论推出的结果确实是"激进的"。他争辩说,由

一个存在物的知识我们不能推断出任何其他物的存在，因为我们不能假设这些偶然的事物之间有任何必然联系。除了上帝，这些偶然的存在物是存在的唯一方式。因此，奥康更有理由相信，从经验到超越于经验的推论根本没有保障。试图用感官知觉的自然存在的规律去证明上帝的存在，是徒劳之举。既然托马斯·阿奎那关于上帝存在的证明属于这一类，这个证明就是没有保证并该遭到排斥的(奥康对上帝的存在给出了一个极为不同的证明，但他认为，凡没有证明上帝必然存在而至多只证明了有一个上帝可能存在的证明都是无效的。)

通过否认偶然的事物之间存在必然联系，奥康批判地检验了因果关系这个基本概念。在其《命题注释》(*Sentence Commentary*)中，他指出，一个事物可以被作为一个直接因，如果该事物所产生的结果在它存在时就出现，并且——在所有其他条件相同情况下——在它不存在时就不出现。仅仅根据经验——而不是先验推理，满足这里所描述的条件的事件系列就可以正当地被确认为是因果相关的，正如我们得知火是一块布燃烧的原因一样。先验推理对确认因果关系不起任何作用，因为奥康已经明确表明，甲物的存在并不必然地意味着乙物的存在。甚至经验在确认因果关系时也不能提供最终的确定性，因为上帝可以不用第二因而直接使布匹着火。奥康未能提出一个将第二因的直接作用与作为第一动因的上帝的直接干预区别开来的标准。甚至在事件系列可以重复观察这样理想的条件下，也无法最终确定特定的动因。这个事态严重地削弱了亚里士多德因果概念的基础。亚里士多德认为因果关系是确定可知的，在13世纪人们未加批判而广泛接受了这个概念。

甚至奥康本人的著名“剃刀”或经济原则，也不能被应用于他所设想的这个完全偶然世界，因为凭借认识手段不可能确定我们所生活的这个世界到底是简单的还是复杂的。上帝可以随意地把世界弄得很复杂，人类的心灵甚至不能确定世界是否有其自身的目的。

剃刀的锋刃仅适用于用来解释世界及其过程的哲学实体和哲学描述，这里简单的解释总是受到偏爱。奥康以此作为自己的目标，用他的剃刀割掉了一大批中世纪的“形式”(form)，这些形式曾被当作解释的工具，或作为哲学和神学的形式实在。

作为一个彻底的经验论者，奥康坚持认为科学的基本前提必须来自经验。既然这些前提并不含有必然的因果关系，它们必须被表述成条件陈述或假设陈述。在条件命题中表述的事物，不能被必然地推断出其存在，也不能断言这些命题与实际存在的偶然世界之间有任何联系。这种态度，伴随全能上帝观念的影响和唯名论者对不可观察的就不是真实的这一观点的确信，都由稍后的让·布里丹(John Buridan，约 1300 年—约 1358 年)反映出来。布里丹在他的《〈物理学〉注释》中讨论了亚里士多德的运动规则。他指出，在这些规则的表述中，动力都被假定为恒常的，尽管在自然界中还未观察到这种力。“对我来讲，从这些东西中必然得出，我们几乎(或根本)没有观察到这些规则所起的作用。但这些规则是有条件的，并且是真的。因为如果规则中所陈述的条件被观察到，每件事将严格按规则所断言的发生。出于这个理由就不该说规则是无用的或虚假的。因为这些条件虽未被自然力所满足，就绝对的意义上讲它们被神圣力量满足是可能的。”

奥康对 14 世纪智力潮流的影响是深刻而持久的。人们普遍倾向于接受经验论，并把它作为一切可以达到的真知识的基础。未观察到的实体和形式被视为不真实的，它们不再是本体论意义上的解释工具。经验论以及对不可观察的实在的排斥，成了唯名论者进行哲学和科学思考的典型特征。追随奥康的神学家都明显倾向于支持并进一步探讨奥康的知识标准的推论，这个标准力图严格地限制在神学领域中运用哲学推理。这群神学家包括米拉柯特的约翰(John of Mirecourt)、皮埃尔·德·塞丰(Pierre de Ceffons)、罗伯特·霍科特(Robert Holcot)、雅克·德特维尔(Jacques d'Eltville)、皮埃尔·达利

(Pierre d'Ailly)等,其中以奥特库尔的尼古拉(Nicholas of Autrecourt)最为突出,或许也最为激进。奥特库尔被称为中世纪的休谟,他认为根本就不存在确实可信的证据。根据奥康的学说,一物的存在并不允许我们推出任何它物的必然存在,原因不能逻辑地从其结果中推出。奥特库尔从奥康的这个命题开始自己的论证,进而否定了亚里士多德自然哲学的全部命题。在他看来,亚里士多德自然哲学的大量结论是不可证明的,因而也就不是最终的结论。他得出结论说,唯有可能的知识才是可能的。奥特库尔还力图提出一个更可能的理论来取代亚里士多德物理学,其立足点却是遭亚里士多德严厉排斥的希腊原子论。他认为运动和变化按不可见且不可分的原子的运动来解释更为可信。

如果说奥康派神学家倾向于激进的解释,对奥康派文科硕士则不能这样说。这些文科硕士未受正规的神学训练,一般被禁止讨论神学问题。或许更有趣的是这样一个事实:他们的职业生涯完全献给了亚里士多德自然哲学的教学和研究。神学家发现亚里士多德哲学及其"证明"威胁着神学、信仰和上帝的全能,与此相对照,文科硕士对亚里士多德的科学和哲学怀有相当高的敬意和信任,虽然14世纪思想的主要倾向也使他们产生了对亚里士多德的批判态度,但他们并未想削弱亚里士多德哲学和世界观的基础,正如我们在随后几章要看到的。14世纪杰出的巴黎学派硕士,如让·布里丹、萨克森的阿尔伯特和英格翰的马西里乌斯(Marsilius of Inghen)都接受了经验论的基本论点(毕竟,相对于柏拉图,亚里士多德强调了知识的经验基础,虽然强调的方式与奥康不同),但与神学家如奥特库尔相反,他们认为,从观察和经验归纳而来的知识足以满足自然科学的确定性要求。他们着重强调人类知识的肯定一面,而不是纠缠于我们关于因果联系知识的不确定性。对他们来讲,不完全的归纳的确完全可以满足作出科学判断的确定性要求。譬如,布里丹论证说,如果我们经验中没有发现一例火不是热的,火是热的这

个一般断言就是正当的。立足于经验证据，他否认自然界中存在真空，因为经验告诉我们，自然界的任何一处都有物体。再者，我们知道，在分离两个物体时，总有第三个物体介入，这类经验更使我们有理由否定真空的存在。奥特库尔放弃了所有无法证明的原理，与此相反，布里丹认为我们必须接受这些原理，它们虽然未被证明，却是根据感官、记忆和经验归纳出来的，正如我们接受火是烫的，太阳产生热一样。

因此，对布里丹来讲，正如许多其他人一样，从归纳得出的一般原理是科学研究的合适基础。许多神学家试图利用奥康的激进经验论来诋毁科学，他们认为科学结论只是可能的。而文科硕士则把经验论当作科学基础。科学的基本原理，尽管公认不可证明，却完全满足科学本身对真理的要求。

尽管对待科学的基本原理和基础的态度有着差异，神学家和文科硕士都经常说"挽救现象"。用这个术语，要么意指不同的假设或解释能同样好地解释某个特定的物理现象，要么意指一个解释可能显得比别的解释更可信一些。两种情况下，解释的机制都不必涉及物理实在。这个观点形成于古希腊，它最初用在天文学上。在希腊天文学中，行星的运动是用圆周或圆的组合，或者如他们自己所称的偏心轮和本轮来表示的。希腊人试图尽可能准确地表示观察到的行星运动，但在多数情况下却又小心翼翼地回避偏心轮和本轮代表行星的真实运动的说法。1271 年后，人们就从拉丁译本中得知，辛普利丘(Simplicius)，这位 6 世纪重要的希腊注释家，在对亚里士多德《论天》注释中提到，一些天文学家对天体运行的机制采取了不同的假设，但没有声称这些机制在天空中实际存在。14 世纪唯名论的影响只是进一步巩固了"挽救现象"的学说，或许还为它在物理学和自然哲学领域的应用提供了哲学证明。14 世纪杰出的学者，如让·布里丹，尼古拉·奥里斯姆，萨克森的阿尔伯特，皮埃尔·达利等，都发现这种解释方便而有用。

但是唯名论带来的不确定性并不只是刺激了为物理现象提供可能的和可信的解释，它在阻止某些学者信奉科学原理的确定性和因果联系的可知性方面所起的作用或许极为关键。在他们的科学讨论中，偶然的物理现象按照假设的形式予以考虑。强调逻辑严格性而并不断言存在的含意，奥康在牛津和巴黎形成了一种倾向：想象所有的可能性——甚至那些看来是荒谬的——而不考虑物理实在或物理应用。术语 Secundum Imaginationem——"按照想象"是这种讨论途径的特征标志。这个倾向在专门论述各种可设想的性质或运动的强度变化方式的文献中表现得最为明显。在这些假设的或想象的物理问题中，可以任意地引进不可观察量和形式上的特性，因为并不要求结论反映(或可用于)物理实在。

在我们对 1277 年禁单带来的主要智力成就的粗略描述中，我们还要问，禁单又是怎样实际地影响了——如果有的话——中世纪的科学进程的呢？通过削弱人们对亚里士多德自然哲学的决定论断言的信心，将中世纪科学从亚里士多德宇宙学和哲学偏见及其论证方式的羁绊中解放出来了吗？禁单第 34 条、第 49 条迫使所有的人承认上帝能使整个宇宙作直线运动，即使留下了真空；承认上帝愿创造多少就能创造多少个世界。第 34 条和 49 条是否足以推翻亚里士多德物理学，并刺激科学想象力而在非亚里士多德方向结出硕果？果真像皮埃尔·迪昂(Pierre Duhem)这位中世纪科学史的先驱所声称的那样，它们加速了现代科学的诞生？如果这是真的，就有点讽刺意味了，难道对自由表达和探索的侵犯竟然产生了现代科学？如果这种解释被证实，就不可避免地暗示，与伽利略大名连在一起的科学革命只是 14 世纪以来反亚里士多德科学潮流的延续，伽利略对亚里士多德物理学的否定就可视为自 13 世纪 70 年代以来不屈不挠的智力活动的顶峰？

或许事实并非如此，就像柯伊雷(Alexander Koyre)这位论述科学革命或许是最为出色的历史学家所认为的那样，1277 年禁单并未

给亚里士多德科学大厦带来多少实质性变化，是这样的吗？受禁锢的宇宙学条目，尽管迪昂重视它们的作用，是否只有微不足道的意义？上帝凭借自己的全能，可以把世界弄成别的模样。采用全能上帝这个强制性观点而给这些条目定罪，是否仅仅起到残害和扰乱亚里士多德物理学研究的作用？文科硕士引用的替代理论，是用来作为亚里士多德结论的真正代替品，抑或只是迫于淫威而提出来的令人生厌的可能解释？上帝能创造任何无逻辑矛盾的物理行为。这样强调上帝的全能，对广泛深入地研究亚里士多德科学果真有害吗？要知道，亚里士多德科学的高度完整结构实际上无法适应禁单中的神学要求。确实，如果禁单有效地引起了对亚里士多德科学的激烈反对，正如迪昂所相信的那样，为什么中世纪亚里士多德的科学没有在 14 世纪和 15 世纪被改变得更彻底一些，或干脆推翻掉？为什么对它的全盘否定竟延迟到 16 世纪晚期和 17 世纪早期？

这些重大的问题至今还没有一个完全令人满意的定论。透彻研究禁单对科学发展和成就的作用，将会大大有助于得到一个恰当的答案。无可否认，禁单对科学讨论有一些影响。在它 1325 年失效之后的许多年内，一些杰出的科学作家，如布雷德沃丁（Thomas Bradwardine）、布里丹、奥里斯姆等，都经常引用禁单中的条目。在随后几章的适当地方，我们将引用其中少数几条。唯在本书结论中，才尝试性地概述 1277 年禁单对中世纪科学的总体影响。在缺少细致研究的情况下，这个尝试必然带有高度的猜测性。

第四章
运动的物理学

前面各章我们总结了与亚里士多德科学和哲学的引进及其对中世纪思想的影响有关的智力和历史背景。在本章及随后一章，我们将试图描述在亚里士多德科学的广阔框架内发展起来的中世纪物理学和宇宙学的某些有关内容。

17世纪之前，物理学史上一些最基本的问题都涉及到试图解释，比方说为什么一块被抛向空中的石头先向上作减速运动，在似乎瞬间停滞后又加速落向地球。大概是亚里士多德最先用下面的一些术语来考虑这个问题，他称石头的向上运动为“强制的或非自然的运动”(violent or unnatural motion)，向下为“自然的运动”(natural motion)，两种类型都隶属于局部运动或位置的变化这个更一般的范畴。位置的变化是亚里士多德对地上及月下界的变化所区分的四类变化之一。其他三类变化是实体的变化(如木头烧成灰)、性质的变化(如变色)和数量的增减。这三类变化是地上物理学研究的内容，它们并不发生在月球到恒星球(表征有限球形宇宙的极限)之间，在这个区域由四种元素(土、水、气、火)组成的普通月下物质并不存在。第五种元素为神圣的以太，被设想为填充这个广阔的月上空间，所有的天体是由它组成的。它的神圣表现在它除了运动外

没有任何其他类型的变化。天空中只有一类特殊的自然运动,因为行星和恒星被沿光滑的圆周转动的物理球带动而永恒地转动。因此亚里士多德明确地将宇宙分成地上或月下区域与月上或天体区域,两个区域内物质的类型和行为截然不同。在亚里士多德物理学的四类变化中,与局部运动相关的问题是物理学史上的核心问题。

16世纪和17世纪对这些问题的普遍解决产生了新物理学和科学革命,它摧毁并取代了长期占统治地位的亚里士多德物理学和宇宙学。但远在新物理学出现之前的中世纪,就已经有了对亚里士多德解释的不满和批判。无论是把中世纪的批判视为自1300年左右到17世纪持续地反亚里士多德传统的一部分,还是把它看成根本不同于伽利略的批判,中世纪物理学史本身就值得研究,并构成科学史的重要一章。为便于理解,我们首先围绕局部运动问题概述一下亚里士多德物理学的要点。尽管亚里士多德经常考虑局部运动,他的一系列著作却根本没有系统全面地处理这个问题。下面的梗概是基于散布在他的一系列著作特别是《物理学》和《论天》中的讨论而勾勒出来的。

亚里士多德将地上运动分成自然的和强制的,这样区分可能来自粗略的观察。一些物体,比如石头,从高处下落时,人们总看到它沿直线朝地球中心——被认为是球形宇宙的几何中心——运动;其他物体,例如火、烟,似乎总朝月球天上升。观察表明,自然落向地心的物体总比那些上升的重。亚里士多德由此归结说:一个重物体,在没有阻碍时总是向下朝地球中心作直线运动,因而,地球的中心——或更准确地说,宇宙的几何中心——是所有重物体的自然位置,相反,轻物体向上朝月球天沿直线自然地运动,月球天是它们的自然位置。所有这些朝上或朝下的自然运动都是加速运动。

亚里士多德为这些粗略的观察提供了重要的理论解释。他采纳了恩培多克勒(Empedocles)和柏拉图的见解:月下世界的所有物质都是由四种基本的元素——土、气、水、火——组成。确实,每一

个地上物体的物质实际上都被看成是同时由四种元素按各种比例构成的混合物,自然落向地心的物体,是因为其中重元素占优势,那些自然上升的物体则以轻元素为主。土是被看成绝对重的,因为无论它处在土的自然位置之上,还是处在水中或气中,抑或处在气上的火焰区,它都落向地心。火被设想为绝对的轻——事实上它无重量,没有阻碍时就会上升到气之上月球天之下的自然位置。水和气是中间元素,相对火为重和相对土为轻。当水在地球内低于它的自然位置时,就会自然上升,若高于其自然位置处在气和火中,就会下落;气处在火的自然位置就会下落,处在土或水中则上升。

在亚里士多德对地上或月下世界结构的解释中,有 3 组对立面起着重要作用。这三对特性可以这样排列:

月球天的凹面	宇宙的几何中心(或地球的中心)
上	下
绝对轻(火)	绝对重(土)

在亚里士多德对物体运动的零散解释中,这些对立特性起着实际的约束条件的作用。左边一栏告诉我们,一个绝对轻的物体(火)会沿直线朝月球天上升,而右边一栏则表明,一个绝对重的物体会沿直线朝地心下落。虽然亚里士多德知道土比气和水稠密,他可能已经否定了用稀稠就能彻底解释石头在气或水中的下落。石头的下落仅因其绝对重。火上升到接近月球表面的自然位置,并不是因为它没有土、水、气稠密,而是因为它绝对轻。火在它的自然位置甚至没有重量,即使抽掉其下的空气,火也不会下落或向下运动。回顾物理学史,我们这样说并不夸大:亚里士多德的绝对重和绝对轻(等同于无重量)概念的导入,对物理学的进展是一个重大阻碍,尽管亚里士多德认为它是对柏拉图和原子论者的重大改进。原子论者认为所有物质都有重量,重量只是一个相对的概念。

虽然重物体，如石头，被移动时，落向地球上的自然位置是“自然的”，亚里士多德进而为这个现象提供了一个因果解释。他假设，能运动的每一个东西，无论有生命还是无生命，都是被另外的东西所推动。他把它作为一个基本原理。由此，一个推动者或动力在理论上可以区别于受动者。在有生命的物体如动物中，灵魂是推动者而动物的躯体是受动者；在天体或行星运动中，推动者是天智(a celestial intelligence)，受动者是行星的物理球。在这两种情况下，推动者和受动者都可以区别开来，但无法在物理上或空间上将两者分离开。在无生命物体的强制和自然运动中，推动者和受动者可以在物理上分开。强制运动的初始动力很容易被确认，因为它必须与受动物体发生直接的物理接触。因此当一个人推拉一个重物或扔一块石头时，他就是推动者或动力。尽管亚里士多德也承认对于自然运动，推动者根本不明显，他把未受阻碍的自然运动的第一因作为特定的动因(中世纪称之为初动者，“generans”)，它触发了物体的实际运动。例如，火生火(如木头燃烧时)，并给新生的火带来了属于火的一切特性，其中之一是未受阻碍时自发自然上升的能力。类似地，任何生成石头的自然动因都给石头带来石头的固有特性，包括在非自然位置时落回土的自然位置的倾向。

前面已经提到，亚里士多德承认所有物体趋向自然位置都作加速运动。他如何解释这一点呢？加速是不是初动者传给物体的自然运动的固有特性？抑或所有的自然运动都是匀速的，而加速是一个要求有因果解释的额外因素？对这个重要问题，亚里士多德没作多少讨论，它留给了后代注释家去补充各种各样的解释。事实上，尽管他承认自然运动是加速的，亚里士多德总把它当成匀速来考虑，至多也只是用平均速度来处理。再者，虽然亚里士多德把初动者作为自然运动的一种遥远的动因，他在讨论下落(上升)时，好像重(轻)是一个物体自然朝下(上)作匀速运动的直接原因。他总结说，在所有其他条件等同情况下，速度与自然运动物体的重量成正

比,而与其运动所穿过的媒质的密度成反比;运动所花的时间与媒质的密度成正比而与自身的重量成反比。例如,加倍一个物体的速度,既可以加倍他的重量(保持媒质不变),也可以减半媒质的密度(保持物体重量不变);类似地,运动的时间可以通过加倍媒质的密度(保持重量不变)或者减半物体重量(保持媒质密度不变)而加倍。

对强制运动,亚里士多德提出了一系列明确的规则,并用这些规则描述了动力施加于一个阻滞物体的后果。尽管这些规则是用力、阻滞物体运动距离、时间,而不是直接用速度来表述的,速度概念更便于我们的叙述和总结。在强制运动中,物体的速度与自身的阻力成反比,与动力或施加的力成正比。用符号表达即 $V \propto F/R$,这里 V 是速度,F 是动力,R 是总阻力,大概包括运动发生于其中的外部媒质和阻滞物体本身,亚里士多德并没有给出阻力的定义。

为使速度 V 加倍,可减半阻力 R 并保持 F 恒定,或者 F 加倍而 R 恒定;为使 V 减半,可减半 F 并保持 R 恒定,或者 R 加倍并保持 F 恒定。亚里士多德认识到,连续减半速度而保持 R 不变,F 可能有被减弱到不能再移动 R,因此他坚决主张,这时运动会迅速消失,运动的规则不再适用。亚里士多德的上述限定在 14 世纪被忽略了,其时他的运动律 $V \propto F/R$ 受到人们的广泛排斥。他的批评者申辩,减半任意一个速度,F 可被连续减半,或 R 连续加倍,直到 F 等于或小于 R,这时运动会停止或不能开始,这是自明的;但从数学上考虑,亚里士多德定律总会给出一个正速度,因为 F/R 至少也可用一个分数来表示,无论这个分数多么小。亚里士多德的定律似乎把他的支持者要么带到一个物理上荒谬的地步——任何力,无论多么小,都能移动任意大的阻力,要么把他们带进一个数学理论之中——数学上持续显示着物理上不可能产生的速度。为避免这一点,人们根据几何比例的新数学关系来取代亚里士多德的数学定律。事实上这个新的定律是个指数定律:减半一个速度,必须用

F/R 的平方根：即 $(F/R)^{\frac{1}{2}}$ 给出的速度为 F/R 给出速度的一半。因此如果最初 F 大于 R，并且运动发生了，F 就不可能等于或小于 R，因为 V 的减半不再是通过减半 F 或加倍 R 而达到。将一个速度降为 $\frac{1}{3}$，必须利用 F/R 的立方根 $(F/R)^{\frac{1}{3}}$，如此类推。使速度加倍或增到三倍，可由 F/R 的平方或立方得到，即 $(F/R)^2$ 或 $(F/R)^3$ 给出的速度是 F/R 给出的速度的两倍或三倍。

确认强制运动的最初推动者，似乎相当直率明了，但确认一个物体在失去与最初的推动者明显接触后促使其运动的动因很不明显。当一块石头被掷出之后，是什么维持其运动？亚里士多德相信，外部媒质——石头运动穿过的空气是维持其运动的动力。很明显，第一单元受扰的空气推动石头，同时也扰动邻近的第二单元空气，第二单元空气又使石头运动得更远一点。第二单元空气同时又扰动第三单元空气，如此类推。随着过程的继续，各单元空气的动力依次逐渐减弱，直至到达不再能激发下一单元空气的那单元为止，这时，石头开始自然下落。按此机制，亚里士多德把媒质既作为动力又作为阻力，因为他不仅确信动力必须与所驱动的物体保持恒常的物理接触，而且确信一个阻滞媒质对阻止和减慢运动是不可缺少的，否则运动既不会是有限的也不会是连续的。事实上它是瞬时的，这当然是荒谬的。很明显，运动的阻力随媒质密度增大而增大，并随媒介的稀薄而减小。既然媒质的无限稀薄会引起速度成比例地无限增加，亚里士多德归结说，如果一个媒质整个消失，留下一个真空，运动便会是瞬时的（或者按他的说法，超出任何比率）。他相信，从虚空的实际存在就能推出这个荒谬的结论，这使得他激烈反对有任何形式的真空存在。世界必定是一个实满（Plenum），月下区充满了由四种元素构成的物体，而月上区充盈着神圣的不可变的以太。

局部运动的区分（自然的与强制的）和围绕这两种相反运动而

产生的大量概念、论证和物理假设构成了亚里士多德月下界物理学的核心。远在亚里士多德物理学于12、13世纪到达西方之前，希腊和阿拉伯注释家在他们著述的大量文献中，对局部运动进行了细致深入的探讨，偶尔还对亚里士多德观点持怀疑态度并作了重要批判。例如6世纪的希腊注释家斐罗波诺斯(John Philoponus)就对亚里士多德把运动归因于外部媒质的功能和作用提出了质疑。斐罗波诺斯不仅否定了局部运动中阻滞媒质的必要性，而且还驳斥把外部媒质(特别是空气)作为强制运动的动因，并以一个无形注入的力取而代之。熟悉希腊注释家著作的阿拉伯注释家，经常修正补充这些观点，其中一些随拉丁译本传到了西欧。正是用这种方式，阿威罗伊(Averroes)转述了阿芬巴塞(Avempace)对亚里士多德的简要批判。阿芬巴塞(伊本·巴哲的拉丁化名字，卒于1138年)是一个西班牙籍阿拉伯人，大概受到了斐罗波诺斯的影响。

阿威罗伊在对亚里士多德《物理学》的注释中，转述了阿芬巴塞否定亚里士多德的看法：物体下落时间与它下落时所穿过的外部媒质密度成正比，因而也与阻力成正比。阿芬巴塞争辩说，如果从一点到另一点运动所需的时间仅仅归因于中介媒质的阻滞能力，亚里士多德这一断言就该是真的。但正是在这个关键点上，亚里士多德本人为阿芬巴塞提供了强有力的反证。亚里士多德已经观察到，行星和恒星，像所有天体一样，并不瞬时地从一点运动到另一点，可亚里士多德又认为天体飘然穿行于没有任何阻力的物质以太的天空中。很明显，尽管没有媒质的有效阻力，行星运动仍可以出现各种不同的有限速度。由此，阿芬巴塞总结说，一个阻滞媒质对运动的发生不仅不是必需的，而且它的唯一功能只是阻滞运动，普通可观测的运动是假设的未受阻碍的运动减去媒质的阻滞以后所剩下的运动。阿芬巴塞的模糊说明使得人们不可能实际地确定可观察的运动。他并没有提出一种方法，借以测量无阻力媒质或真空中的运动。它是按物体的重量、它的大小、内在的力，或是按其他方

式加以测量的？在一个可观察的运动中，媒质的总阻力究竟如何阻滞自然运动并产生一个终速度？如何测量这样的阻力？直到16世纪，邦内德蒂(Giovanni Battista Benedetti)和伽利略通过采取相似的反亚里士多德观点，才成功地为媒质阻力提供了一个客观测量的方法。

在阿威罗伊著作拉丁译本出现之后不久，阿芬巴塞的批评广泛流传开来，并且引发了进一步的修正和争论。圣·托马斯·阿奎那(St. Thomas Aquinas 1225年—1274年)是首批思考这个批评的人之一，尽管他没有提到阿芬巴塞的姓名，但他反对亚里士多德和阿威罗伊的简洁论证无疑表明了他的观点是亲善阿芬巴塞的。经验表明，无阻力媒质中的运动应该是有限的。托马斯·阿奎那重复着阿芬巴塞对天以太中运动的解释，这个解释很快流传开来。理性还告诉我们，真空中的运动应该是有限的、连续的，因为空虚的空间至少跟填满了物质的空间一样，是一个展延的、有维度的容积。一个物体从其特定的点到另一点必须穿越中间的空虚的或实满的空间，这要求它首先必须穿过接近起点的空间，随后才能穿过更远的空间。

不管这个论证是不是托马斯·阿奎那的创造，它注定要成为中世纪对真空中有限运动可能性的一个标准的证明。现在按照纯粹的空间和时间术语，可以设想真空中的有限运动，但按照与物体的通常运动相联系的普通动力学原理，这种运动是否可信？如果把一个真实的物体置于一种真空中，假设真空存在的话，它会以自然运动上升或下落吗？如果它被猛烈地推一下，能连续地运动吗？尽管亚里士多德否定了在真空中运动的可能性，他也没有为提出这些问题的人提供任何指导，但中世纪的解答却又是借助亚里士多德物理学原理而精心阐述的，尤其是假设任何受动者都由一特定的且可确认的实体所移动的原理，以及每一种运动都必须有一个对抗阻力的力的作用的原理。

自然运动的答案来自13世纪晚期14世纪早期引进的一个新概念:"内阻力"。它的引进只有在对亚里士多德混合物的概念作出新的解释之后才有可能。亚里士多德已经将单纯元素物体(土、气、水、火)从混合物中区分开来。单元素物质是假设的抽象物,在自然界中实际上观察不到;而元素混合物是所有四种元素按各种比例混合而成的,在自然界中实际上可以被观察到。亚里士多德认为,在所有的混合物体中,有一种元素占优势并决定了该物体的自然运动,即自然上升或自然下落。在中世纪许多人接受这个解释的同时,一些人转而相信,一个混合物可以由两种、三种或四种元素组成,而且主导元素并不决定它的自然运动。他们认为,轻元素的合力(total power)共同对抗着方向相反的重元素的合力,如果轻占优势,就会产生向上运动;如果重占优势,就会向下运动。混合物中轻和重元素被设想成好像由各个部分或各种分量组成的,部分的总和会显示重的或轻的运动性质的优势程度,因而决定自然运动的方向。重的部分对轻的部分之比越大,向下运动速度越大;类似地,向上运动的速度随轻元素对重元素之比的增加而增大。

从这里到"内阻力"概念,只有一步之差。既然重元素和轻元素,凭其本性,必在相反方向运动,既然已经有了一个混合物中各元素度数的想法,有人进而设想重和轻在同一个混合物中作为相反的作用力或属性而起作用也就顺理成章了。因此总度数最大的属性被确认为是动力,它的对立面则作为阻力。现在,如果比较两个混合物,两个物体中重都超过轻,比例分别为8:3和8:5,就有理由认为,在同种外介质中,轻的度数小的物体会以较大速度下落。这可以用下面事实来解释:较快的运动物体有较少的轻或较小的内部阻力。如果两个物体有同等量的轻,而它们下落速度不同,较快下落的物体显然有较多量的重。一般来讲,在一个落体中,重作为动力,轻则作为阻力;在一个上升的物体中,轻是动力,而重是阻力。

既然月下区所有可能观察到的真实物体都是混合物,用内部阻力就能解释所有自然的地上运动。但最有用的还是用它来证明在一个假设的虚空中运动的合理性。因为现在这种运动的必要条件即动力和阻力得到了满足,内部阻力阻止了在一个没有外部阻力的媒质中出现无穷大速度。每一个混合物都可以被设想为可在虚空中运动,因为它自身携带了动力和阻力。然而纯元素物体又是怎样呢?尽管正如我们已经指出的,自然界中并不存在这样的物体,学者们仍然思考着这些假设的实体并继续讨论它们的运动。纯元素物体,如水、气、土,它们的下落仅在物质媒质中能够出现(作为绝对轻元素,火不能在任何媒质中下落)。然而在一个广延的真空中,人们通常认为它们会以无穷大速度下落,因为这时没有了任何内部的或外部的阻力。纯元素物体显然不能有与混合物同样的内阻力。既然不可能有任何动力与阻力之比,势必出现无限速度。尽管人们偶尔试图猜测一个纯元素物体在真空中作自然运动的方式,这种运动普遍被认为在动力学上是不可能的。正如前面所说,理论上只能接受阿奎那的运动学或时间空间论证。

在中世纪物理学范围内,欲论证虚空中自然运动的合理性,若限于混合物,内阻力显得是最合理的方式。一旦确立了这一点,一个有趣而重要的结论随之而来。托马斯·布雷德沃丁(卒于1349年)、萨克森的阿尔伯特和其他人指出:两个大小不同因而重量不同的同质物体在虚空中将以同等速度下落。从亚里士多德物理学的观点来看,这一结论是惊人的。根据亚里士多德物理学,速度与重或绝对重量成正比,因而越重的物体其速度越大。而现在却认为,重量不同的同质物体会以同样速度下落。当然,这个结论建立在同质假设基础之上。在每一个同质混合物中,物质每一部分都是同样的,因而每一单位物质都有同样的重元素与轻元素的比率,即同样的动力与内阻力的比值 F/R。尽管一个物体比另一个物体包含有更多的同质物质单元,因而比另一个大而且重,这两个物体将

以同等速度下落,因为速度被认为由内部因素唯一确定,在这里这个因素就是每单位物质的动力与阻力之比,而不是像亚里士多德认为的那样由一个外部因素(如总重量)所决定。

两个多世纪之后,伽利略在他的《论运动》一文(约写于 1590 年)中,面对同样的问题采用了相似的方法,来反驳亚里士多德对自然下落的解释。不同的是,伽利略采用了每单位体积的重量或比重,以代替每单位物质的动力与阻力之比。他争辩说,大小不同因而重量不同的同质物体,将以同等速度在一个媒质(实满)或虚空中下落,尽管在虚空中下落速度大于在媒质中下落速度。通过抓住有效重量,而不是总重量,来作为速度的最终确定者,伽利略得出了这个结论。就伽利略来讲,有效重量等于物体比重与其穿行的媒质的比重之差。因此,实际上是比重之差决定了速度。一个落体的速度可以表示成 V 正比于物体的比重减去媒质的比重,一个上升物体的速度可以表示成 V 正比于媒质的比重减去物体的比重;在一个虚空中,媒质的比重为零,因此一个物体下落速度与其比重或者每单位体积的重量成正比。显然,如果两个不同物体的比重相等,在相同媒质或虚空中它们将以同样速度下落。在他的名著《关于两门新科学的对话》(1638 年)中,伽利略推广了他的定律:所有的物体,无论大小如何,无论由何种物质组成,在一个真空中都将以同等的速度下落。这个推广的结论必定要成为牛顿物理学中不可分割的一部分。

伽利略与他的中世纪先驱所用的方法和所得出的结论都惊人地相似,这也许只是巧合。尽管伽利略在学生时可能已经注意到了中世纪的讨论,但还没有确凿的证据来支持这种说法。确实,中世纪亚里士多德主义者按绝对轻和绝对重解释运动方向,伽利略则依据物体与媒质重量之间的关系,再也没有必要去区分简单或纯元素物体的行为和混合物体的行为。按照中世纪广泛认同的观点,仅仅某些物体(混合物)能在一个假设虚空中以有限速度运动,而所有

其他物体(纯元素物体)则不能。这一观点在伽利略《论运动》一文内的物理学中已经变得毫无意义。伽利略从他最基本的概念——比重——出发,同等地对待一切物体,而不管它们是由什么组成的。他断言,所有的物体都可以在虚空和媒质中下落或运动。对伽利略而言,同质的阿基米德量值取代了中世纪晚期对纯元素与混合物所作的分别。既然这种两分法不适用于伽利略对运动的分析,加上伽利略又否定了绝对的轻重之别,内阻力概念因此也就变得毫无意义。在中世纪,人们利用这个概念是为了解释虚空中有限运动的动力学,它依赖于混合物中轻重元素的两种相反倾向:在向下运动中,重和轻分别起着动力和阻力的作用;在向上运动中,它们的作用相反。但伽利略既不求助于内阻力也不求助于外阻力来得出虚空中的有限速度,虚空中落体的速度正比于它的比重。力和作为外阻力因子的媒质都由比重而加以客观地测量。尽管用比重来解释自然下落尚有不足,16 世纪晚期的伽利略及该世纪早些时候的伽伐尼·巴蒂斯塔·邦内德蒂(Giovanni Battista Benedetti)对"比重"的应用,标志着对中世纪流行的模糊不定的力和阻力概念的改进。

伽利略关于虚空或媒质中下落的更一致更简洁的论证决不能淡化一个历史事实,即他从传统中汲取了虚空中的有限运动是易于理解的关键性见解。这个传统可以直接上溯到拉丁中世纪,追溯到阿芬巴塞(Avempace),并远溯至斐洛波诺斯(Philoponus)。确实,伽利略默认这一点。正是这个反亚里士多德传统,使他得出结论:物体下落时阻滞媒介仅是一个阻滞因素,它的真正的自然运动只出现在真空中,尽管真空是假设的。

与长篇累牍的关于真空中自然运动的可能性的探讨相对照,真空中强制运动的可能性几乎未被考虑。这个问题令人望而却步。强制运动的两个必要条件,即动力和阻力,在真空中似乎并不具备。在缺乏物理媒质(如水、气)的情况下,没有任何外部动力或阻力可以利用。亚里士多德已经说明了这一点。轻和重,作为自然运

动中混合物体的内部动力和阻力，在说明强制运动时几乎没有用处。重占优势的混合物，按照定义，在强制运动中必定向上或水平地运动，这样，它的优势的重就不能作为一个动力。若不否定真空中强制运动的可能性，符合晚期中世纪物理学原理的唯一合适的答案则包含在尼科尔斯·波内图斯（Nicholas Bonetus，卒于1343年？）的一个陈述中："在一个强制运动中，一些非永久的、短暂的形式注入到运动体内，因此只要该形式持续存在，虚空中的运动就是可能的；当它消失时，运动便停止。"

这个简洁的陈述浓缩了中世纪晚期物理学绝大部分关键的内容。陈述中把注入的力描述为"非永久的、短暂的形式"，在中世纪称为"冲力"。这个概念既是对亚里士多德物理学的重大补充，又标志着与亚里士多德物理学分道扬镳。还在晚古，约翰·菲洛波诺斯就已经注意到，如果按亚里士多德的说法，与物体直接接触的空气能产生并维持物体的运动，那么，仅仅激发石头后面的空气而使石头运动就应该是可能的，这明显与经验相抵触。因此，菲洛波诺斯拒绝把空气作为一个动力，而代之假设一个无形的动力来作为使石头继续运动的原因，它是由最初的推动者传给石头或抛射体的；把注入的力作为动力而把石头或物体作为阻力，强制运动的条件便得到满足，空气对这个过程没有或甚少贡献。他总结说，强制运动在一个真空中比在一个媒质中更容易出现，因为真空中没有任何外部阻力阻碍注入的力的作用。

穆斯林作家进一步细致地修正了菲洛波诺斯的解释。他们称注入的力为"mail"（倾向）。信奉"倾向"理论的穆斯林之一是阿维森纳（Avicenna），他把它设想成初始动力的一个工具，物体在失去初动力之后借助这一工具持续运动。阿维森纳区分了三种类型的倾向：精神的、自然的和强制的。撇开第一类不谈，他企图用自然的和强制的倾向来为亚里士多德所区分的两种相应的运动提供因果解释。按照阿维森纳的观点，一个物体所接受的强制倾向与其自身

重量成比例，这就解释了为什么能把一个小铅球掷得比一块轻木或一片羽毛更远。在本体论意义上，阿维森纳认为倾向是一个永恒的属性，在没有外部阻力时它会永存于物体内。由此他得出结论：如果一个物体在一个虚空中强制运动，它将无限运动下去，因为没有任何理由让它停下来。亚里士多德没有求助于注入的力也得出了这一结论并由此否定了虚空的存在，因为经验没有显示这种运动。阿维森纳同样否认了虚空的存在。在下一世纪，阿布尔·巴拉克特（Abū'l Barakāt，约卒于 1164 年）提出了另一种倾向，它是非永久的和自耗的，与尼科尔斯·波内图斯的描述相吻合。这样，一个强制运动的物体，即使在虚空中也将停下来，因为注入的力不可避免地要耗尽。因此，阿维森纳的推论不能用来作为反驳虚空存在的重要依据。穆斯林关于注入的力的各种论证，最终将在拉丁世界找到自己的对应物。拉丁世界的这些观点是经阿拉伯著作的拉丁译本直接传来的，还是独立发展的，至今尚不清楚。

西方在 13 世纪已经知道了这个理论，因为少数拉丁作家，如罗吉尔·培根（Roger Bacon）和托马斯·阿奎那（Thomas Aquinas）都拒绝接受用一个无形的注入的力来说明一个物体持续的强制运动。到 14 世纪，这个理论的某些版本才流行开来，特别是在巴黎。早在 1323 年，佛朗西斯科·德·马歇（Franciscus de Marchia）提出了该理论的一种表述方式：无形的注入的力，或者按他所称的"Virtus derelicta"（遗留的力），是一个自然地自耗的和暂时的力，它能使一个物体作与其自然倾向相反的运动。在这个过程中，空气仍起着辅助的作用，因为佛朗西斯科相信，当物体运动时，周围的空气也接受到一个注入的力，空气借助这个注入的力起到辅助物体运动的作用。

雕琢得最好的理论是让·布里丹（John Buridan）提出的，或许还是他引进"冲力"这个词来作为注入的无形的力的专业术语。布里丹把冲力设想为一个由初始推动者传给运动物体的动力，冲力的强度用一个物体的速度和质量（quantity of matter）来量度。他认为，一

个重而稠密的物体比同样体积和形状的一个轻而稀薄的物体有更多的物质。基于这个正确的假设，他解释这一事实：如果同样形状和体积的一块铁与一块木头以同样的速度运动，铁块将运动较长的距离，因为它的较大质量能接受更多的冲力并保持更长的运动时间以对抗外部阻力。布里丹抓住了质量和速度作为确定冲力大小的方法。正是同样的量（质量和速度）在牛顿物理学中被用来定义动量，尽管在牛顿物理学中动量通常被设想为一个运动的量或一个物体的运动效果的量度，而冲力却是运动的原因。冲力被认为是动力的内化，虽然这与亚里士多德认为动力总是外部的见解相左，却似乎更好地支持了亚里士多德的格言：受动者皆为他者所动。

如同阿维森纳，布里丹赋予冲力以永久的属性，除非它被外部阻力减弱消耗掉，它将永存；一旦推动者把冲力传输给一个物体，物体在失去与原始动力接触后，如果没有任何可确认的原因，就不可能有额外的冲力。既然冲力的最初量不会减少，除非被作用于物体上的阻力所消耗（这不仅包括外部阻力，而且包括一个物体向其自然位置运动的自然倾向），在理想的尽管实际上不可实现的条件下，冲力将保持恒定。因此，布里丹明确地暗示，如果运动的所有阻力都已排除，运动的物体将永恒地运动下去。可以推测，这种运动是匀速直线运动，没有任何理由改变它的方向和初速度，甚至落回自然位置的倾向也不起作用，因为已排除了对强制运动的任何阻碍。确实，在冲力有效地使物体作离开其自然位置的强制运动时，物体落回自然位置的倾向是否会促进或阻碍强制运动，尚有疑惑。不幸的是，布里丹未能精致地阐述冲力理论这个意义重大的潜在的惯性结论，或许是因为理想条件下无定限的直线运动这个非同寻常的观点，在一个有限的亚里士多德世界中，过于荒谬了。如果布里丹已承认，甚或设想了这样一个无定限的直线运动，他大概也要发明一个机制来遏止它。布里丹否定了虚空中有限连续运动的可能性，从而避免了这个潜在的困境，虽然，他像 1277 年禁单影响下写

作的其他人一样,也承认上帝能够超自然地产生这种运动。如果布里丹采纳了非永久的或自耗的冲力观点,他可能会接受假设的虚空中的运动。虚空中的运动,在非永久的冲力作用下,只能持续有限的时间。

尽管一个无定限的、匀速的直线运动(惯性原理的一个基本要素)与中世纪物理学不相容,这种运动却能从布里丹的永恒冲力的特征和本质中推论出来。牛顿在把惯性看成阻碍物体改变其静止或匀速直线运动状况的内力之前(在中世纪,静止与匀速直线运动从未被视为同等的状态;相反,静止和运动被视为对立的条件或状态),他假设的惯性非常接近布里丹的冲力——即:惯性作为一个内力,在缺乏外部动力或阻力时,会引起无定限的直线运动。

如果说中世纪不能接受由一个注人的力而产生的无定限的匀速直线运动,但接受无定限的匀速圆周运动则没任何问题。一个水轮,在失去外界推动之后仍然继续转动,这促使布里丹猜测,在没有消耗性阻力条件下,轮子将在最初推动所传授的冲力作用下永恒地转动。布里丹把天体运动作为由恒定冲力作用下无定限圆周运动的一个可能的实例。他假设,上帝在创世之时,把固定量的冲力注人了每一个天球,而不是假设存在推动天体的天智。既然天空区域被认为没有任何阻力,最初注人天球的冲力将保持恒定并产生无定限圆周运动。布里丹只是尝试性地提出这个观点,以避免与神学家发生冲突。

至此,我们还没有穷尽布里丹对冲力理论的应用。他还用冲力来解释落体的加速,所用的方法与稍早穆斯林应用倾向理论的方法显著地相似。在伽利略之前,包括伽利略本人,落体问题一直是用双重方式加以处理的:其一是一般地解释下落的原因而不考虑公认的加速,其二才关注它的加速。前面我们看到,亚里士多德把初动者作为一个物体自然下落的原因,但他在实际讨论时,却又把重量当作一个重物均匀下落速度的决定因素,加速实际上被忽略了。

在中世纪拉丁西方,一些作家把一个物体的实体形式作为其下落的原因;而另一些作家,特别是14世纪的作家,把一个物体的重或重量当作下落的第一原因。为说明加速,常常加上与第一因不同的第二因。布里丹正是用这种方法来探讨落体问题。既然一个物体的重量在下落时保持恒定,他确认重或重力(gravitas)是其自然匀速下落的原因。布里丹排除了人们常用来说明加速的几个原因(如对自然位置的亲近,落体产生热导致的空气稀薄,物体下落时空气阻力的减弱),并用冲力的增量累积解释了加速。按照他的解释,一个物体的重不仅启动了它的下落,而且产生了冲力增量累积或"附属重"(有时人们用这个称呼)的连续累积;冲力的连续累积导致速度的连续增长,因而产生一个连续的加速的运动。下落过程中可以区分三个要素:(1)物体的重 W;(2)冲力 I;(3)速度 V。刚开始,在第一个时间间隔的末端,Δt,重或重量 W 产生了一个初速度 V。同时,在这同一个时间间隔内恒定的物体的重产生了一个冲力 I,它将在第二个时间间隔内发生作用并产生一个速度增量 ΔV。因此第二个时间间隔末端 $2\Delta t$,重和冲力之和 $W+I$,使物体速度增长到 $V+\Delta V$。在第二个时间间隔 $2\Delta t$ 内,产生了冲力的第二个增量并加到第一个之上。因此,在第三个时间间隔 $3\Delta t$,$W+2I$ 将产生速度 $V+2\Delta V$。在第四个间隔,$W+3I$ 将把速度增至 $V+3\Delta V$,如此类推。布里丹的解释仍然处于亚里士多德传统之内,因为这里力总是与速度成比例,而不是像牛顿物理学中那样与加速度成比例。这是很明显的,因为速度的每一个增量依照冲力的一个成比例的增量。因此,如果在力 $W+3I$ 产生了 $V+3\Delta V$ 之后,再没有额外的冲力增量,速度将保持 $V+3\Delta V$ 不变,并且保持与此时恒定的力 $W+3I$ 的比例关系。只要重或重量被当成一个直接产生速度增量而不是冲力增量的恒定动力,就可以说,布里丹已颇为接近力与加速度成比例这一概念。但这种解释没有多少保证,因为物体的重在产生一个适当的速度增量之前必须先产生一个冲力增量。作为一个恒定动

力的重与速度增长之间的关系充其量也是间接的。

注入力理论的影响一直持续到16世纪的伽利略,尽管对这一点看法存在分歧。伽利略早年在比萨大学热情支持这个理论。在其未发表的论文《论运动》里,他力图解释重物的受迫向上运动及随后的加速下落。他采用了遗留之力(residual force)来作为解释的基础。这个观点来自希帕恰斯(Hipparchus),它的描述可以在中世纪广为人知的辛普利丘《对亚里士多德〈论天〉注释》中找到。在遗留之力的基础上,伽利略加进了一个自耗的、注入的无形之力或冲力的机制,这种机制很可能来自中世纪的文献。起初,推动者将一个注入的力输进一块向上抛掷的石头,当动力减弱时,物体逐渐放慢向上运动的速度,直到注入的力被石头的重量所平衡抵消,这时石头就开始下落,开始很慢地,随着注入的力的减弱而越来越快。当石头重量与正在减弱的注入的力两者之差持续增加时,加速就产生了。因此,在下落过程中,注入的力实际上作为阻力而起作用。从理论上考虑,如果物体下落了一个足够长的距离,所有注入的力都将消失,这时物体将匀速下落。伽利略最终还是放弃了自耗的注入之力这个概念,而代之以一个保守的累积的冲力来解释加速下落。这个解释与布里丹的解释几乎没有差别。

加速下落问题,在历史上引起了很大的混乱。一个加速下落的物体,下落的时间越长,距离越长,速度显得越大。时间和距离与下落显得紧密相关,以至于假设速度的增大与时间或距离甚或与两者都相关,看来是可信的。布里丹、萨克森的阿尔伯特和列奥纳多·达·芬奇(Leonardo da Vinci)都采用了两个相关关系(列奥纳多用了同样的命题来表达两个相关关系),但并没有认识到两个约定之间的矛盾性质。晚至1604年,伽利略甚至还错误地假设速度直接正比于距离($V \propto s$),而不是像他后来所认识到的那样正比于时间($V \propto t$)。这个混乱或许部分来自这样一个事实:直到17世纪,自由落体运动是匀加速运动才被广泛接受。如果在14世纪人们广泛接受了这一

点，也许当时就会认识到自由落体运动的速度正比于时间。事实上，一些基本的定义和证明在14世纪就已经被提出来了。当伽利略最终把它们应用于自由落体问题时，就由它们导出了速度与时间成比例这个结论和自由落体飞行的距离正比于下落时间的平方（即 $S \propto t^2$）这一推论。

这些成就来自中世纪对性质强度变化方式的独特思考，譬如，颜色如何改变它的色调和强度，水如何变得热与冷。这些问题的研究与分析后来标名为“形式和性质的张弛”（the intension and remission of forms and qualities）。在14世纪早期牛津大学的梅顿学院，一群英国学者，如海特斯布里（Heytesbury）、敦布莱顿（Dumbleton）、斯温斯赫德（Swineshead），开始用与处理性质强度变化同样的方法来处理速度或局部运动的变化。速度的强度随速度而增大，并不亚于一个苹果的红随其成熟而增加。随后300年，从14世纪到16世纪，可变的性质与速度之间的类比，是论述形式和性质的张弛的文献的一个基本特征。尽管性质变化的研究持续了相当长时间，牛津大学和巴黎大学在14世纪就已经获取了这一研究在物理学史上的全部成就，但创造性的讨论总是夹杂在初级神学和形而上学内容之中，只有在剔除神学和形而上学内容之后，这些成就才能展露出来。

中世纪的贡献在于创造性地正确定义了匀速和匀加速运动。伽利略采纳了这些定义，但也不能再有所改进了。在梅顿学院及其他地方，匀速运动被定义为在任何（或者所有）相等的时间间隔内通过相等的距离。如同伽利略一样，中世纪作家令人信服地加上了“任何”这个词，以避免在非匀速运动中出现相等时间内通过相等距离的情况。按照这个概括，在任何和所有相等的时间间隔内，无论这个时间间隔多么大或多么小，通过的距离都相等。因此，他们的定义确保了运动的匀速特性。

梅顿学派还把匀速运动的定义推广到最简单的变速运动，从而得出了匀加速运动的精确定义：在所有相等的任意长度的时间间

隔内，获得一个相等的速度增量。他们还力图定义瞬时速度这个困难的概念。由于缺乏比率极限这个根本概念(这个概念几个世纪之后才在微积分中发展起来)，他们借助均匀速度来定义瞬时速度。瞬时速度用动点或动体通过的距离来表示：在一定时间间隔内，一个点或物以与所问瞬间相同的速度匀速运动一定的距离。这是一个循环定义，因为它用一个均匀速度来定义瞬时速度，而这个均匀速度又等于将要被定义的瞬时速度。梅顿学派的功绩在于认识到这个概念的必要。他们不仅直接用定义来处理瞬时速度，而且还间接通过他们的匀速和匀加速(这里暗含着无限小时间间隔内的速度)运动的定义来探讨它。

梅顿学者高明地运用了这些定义，并提出了人们所称的平均速度定理。这一定理大概是中世纪在物理学史上的唯一卓越成就。用符号表示则可写成 $S=\frac{1}{2}V_ft$，这里 S 是运动的距离，V_f 是终速度，t 是加速的时间。因为速度被假设为均匀地增加，故 $V_f=at$，这里 a 是均匀加速度，替换可得 $S=\frac{1}{2}at^2$，这是匀加速运动距离的通常表述式。当匀加速不是从静止而是从某一特定速度 V_0 开始，中世纪的表述可写成：$S=[V_0+(V_f-V_0)/2]t$，或简单地写成：$S=V_0t+\frac{1}{2}at^2$，因为 $V_f-V_0=at$。

上面所用的符号和数学表达在中世纪并不存在。这里所用的简洁公式，在中世纪是用修辞方式表达的。对于今天读者来讲，这种修辞表达显得笨拙冗长甚至难解。中世纪作家说，一个物体或点，从静止开始均匀加速，在一定时间内将运行一段距离。随后他们就声称，如果同一物体在同一个时间间隔内用等于它的匀加速时间间隔的中点的瞬时速度的速度作匀速运动，它将通过相等的距离。因此，一个匀加速运动被等同于一个匀速运动，这使得用后者运行的距离来表述前者运行距离成为可能。在 14、15 世纪，人们为

这个关键定理提出了大量的算术和几何证明。其中以尼古拉·奥里斯姆的几何证明最为著名。这个证明大约于1350年提出,收在他的《论性质的构形》之中,这本著作对性质的张弛作了最富原创性的也是最完备的处理。

在图4中,令线AB代表时间,垂直于AB的线段代表物体Z的速度:从静止点B开始,均匀地增大到最大速度AC。包含在三角形CBA内的速度强度总量被设想为代表在总时间AB内Z从B出发沿直线BC到C所通过的总距离。令线段DE代表Z在沿AB时间中点测得的瞬时速度。现在,如果Z以DE处的速度匀速运动,在时间AB内从G到F沿线GF运动的总距离由长方形AFGB给出。如果能证明三角形CBA面积等于长方形AFGB的面积,就证明了一个从静止开始作匀加速运动的物体所通过的距离等于在同一时间间隔内以匀加速运动时间间隔中点的速度作匀速运动的物体所运行的距离,即Z作匀速运动的距离 $S=\frac{1}{2}V_f t$,等于Z作匀加速运动的距离 $S=\frac{1}{2}at^2$。两个面积相等的证明如下:因为∠BEG = ∠CEF(对顶角相等),∠BGE = ∠CFE(均是直角),GE = EF(线DE平分线GF),三角形EFC与三角形EGB全等(欧几里德《原理》第一册,命题26),当这两个全等三角形中的一个被加到区域BEFA并组成三角形CBA和长方形AFGB时,立即可得三角形CBA面积与长方形AFGB面积相等。

在14、15世纪的欧洲,尤其是意大利,平均速度定理的奥里斯姆的几何证明以及大量的算术证明广为人知。通过15世纪晚期和16世纪早期印刷版本,不难判断,伽利略对这些证明大概相当熟悉。在《关于两门新科学对话》这本新运动学的奠基著作中,平均速度定律是第三天对话的头一个命题,伽利略的证明与奥里斯姆的极为相似,甚至所用的几何图形都一样,只是伽利略作了一个90°的转向。事实上,一些中世纪作家早已这样定向了。

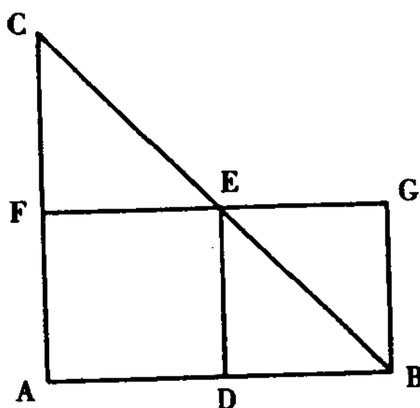


图4

有关运动的一些最基本概念和定理，伽利略并未优先于他的中世纪先驱。人们一度认为运动学完全是伽利略的创造。无疑，这种说法夸大了他的贡献。这主要是由于17世纪到19世纪提出的对伽利略成就的传统解释，是在对中世纪成果几乎完全无知的基础上作出的。20世纪艰难细致的研究不仅已揭示了迄今未知的中世纪成就，而且还要根据这些成就重新评价伽利略在科学史上的地位。接下来自然要问，如果从前归功于伽利略的主要定理及推论在中世纪已经得到阐明，在何种意义上可以说伽利略奠定了现代力学科学？

历史记录的修正并没有贬低伽利略的天才，也没有剥夺他被誉为现代力学奠基者的地位。尽管伽利略没有优先于这里描述的一些中世纪成就，并且以我们尚不清楚的方式继承了前人留下的遗产，他的创造才智表现在从中世纪冗长繁复的性质张弛理论中提炼出与运动的数学和运动学描述直接相关的内容。在14世纪至16世纪论述性质和速度张弛的文献中推导出的大量结论和定理，至多只是反映了经院思想家的微妙想象力和逻辑敏锐性的一些智力练习。除了少数例外，他们满足于把速度当成与真实物体的运动相脱节的强度可变的性质。譬如，奥里斯姆就把性质变化的几何学表示看成是心灵的虚构，它与自然界无关。相反，伽利略把有关运动的

所有重要的概念、定义、定理、推论组织成一个逻辑的、有序的整体，并且用它来研究实际物体的运动。匀加速不再是一个纯粹定义的概念，而是自然界中物体下落方式的真实描述。用这些中世纪的零散部件，他建造了一门新的力学科学，并构成牛顿科学的一个关键部分。单是这一个成就，就足以把伽利略排在科学天才之列；正是这些天才，一次又一次深刻地改变着科学的性质与方向。

第五章
地球、天及天外

在宇宙学上，亚里士多德的影响甚至比在物理学上还要突出。亚里士多德带给中世纪一个高度完整的世界结构图像，这个图像总体说来是令人满意的。尽管它的这个或那个方面一再受到建立在天文学、物理学或神学基础上的强烈攻击。在16、17世纪被抛弃之前，它一直占据着绝对的支配地位。它显示了一个和谐有序的世界，这个世界不仅为大多数有识之士所易于理解和接受，其总体特征还能生动形象地为社会所有阶层的人士所鉴赏。古代与之匹敌的宇宙学理论，如萨摩斯的阿利斯塔克（Aristarchus of Sames）的日心说，在中世纪，要么根本不为人知，要么也大多是从与之敌对的亚里士多德著作中得知。亚里士多德描述它们只是为了反驳它们，如同他对待德谟克利德原子论一样。原子论由于其与无神论的传统瓜葛而受到加倍的诅咒，这一事实或许解释了为什么原子论的最伟大论著，卢克莱修（Lucretius）的《物性论》（*On the Nature of things*），在15世纪被人文主义者重新发现之前，中世纪绝大部分时间内一直被束之高阁的原因。再者，亚里士多德的宇宙学除了少数显著的例外，是能够与基督教圣经和神学和睦相处的。

如同穆斯林和犹太人一样，基督徒最深切的担忧来自亚里士多

德的断言及相关的“证明”：世界是永恒的，既没有开始也没有终结，没有创造行动带来世界，也没有毁灭行动能终结它。基督教渲染的初始创造由此被否定了。因此，反驳亚里士多德被认为是不可缺少的。相当长一段时间内，基督徒、穆斯林和犹太教徒都力图正式否证亚里士多德这个敌对的断言，尽管他们都未能成功。一些人曾天真地认为，需要一个证明来否定世界的永恒性，以保护他们敬仰的宗教。因为如果它不能被正式地否证，上帝是否确实创造了世界就会遭到怀疑，信仰上帝的基础就会因此而被严重削弱。迈蒙尼德（Maimonides）这位生活于阿拉伯世界的12世纪犹太哲学家，看到了所有这些危险。如果世界的创造注定是不可确知的，除非有一个无懈可击的证明去证明世界永恒的不可能性，那么，宗教的根基就有坍塌的危险。他又争辩说，亚里士多德及任何其他人都没有真正证明世界的永恒性，如果已经有了这样的一个证明，圣经教义就必须被抛弃。迈蒙尼德也坦然承认没有任何关于世界是神圣创造的成功证明，但他却把世界的神圣创造当作是不容置疑的。他相信圣经足以使人们无条件接受这一点。迈蒙尼德的探索，通过他的名著《释惑》（*Guide of the Perplexed*）的拉丁译本传到西方，并使得托马斯·阿奎那等人相信，既然亚里士多德断言的世界的永恒性缺乏正式的证明，单单立足于信仰基础而无需去证伪它就可以排除这一断言。因此，世界的永恒虽然常被讨论，因其与信仰相左，排除它是不需要证明的。这使得中世纪基督教徒可以接受亚里士多德宇宙学的其余部分。奇怪的是，柏拉图的宇宙学（其绝大部分的内容可见于查尔西图斯的拉丁译文），乍一看来似乎比亚里士多德的更引人注目，因为它把世界看成是由一位神灵创造的，但它根本不是亚里士多德宇宙学的真正对手，因为它缺乏精致的形而上学基础，以及大量的佐证细节和对常识的强烈求助。

中世纪亚里士多德宇宙是一个巨大的球体，球形的地球处于它的几何中心。当代盛传着一个误解：在哥伦布发现美洲之前，地球

被认为是扁平的;事实上在拉丁西方根本没有扁平地球论者。亚里士多德球形地球的论证如此合理,以致它的真实性很轻易地被接受了。作为观察的证据,他引用了月亮表面的曲线,并正确推论出它们是置于日月之间的一个球形的地球的投影。他还注意到,地球表面上位置的变化把不同的恒星轮廓带入我们的视野,并显示了一个球形表面。甚至基于理论基础,亚里士多德也确信地球的球形性质,重物沿非平行线朝地心下落,表明它是个由无数土块围绕中心积聚而成的球。

中世纪对地球相对大小的看法主要来自亚里士多德和托勒密,他们两人都认为,相对于球形宇宙的巨大尺度,地球仅仅是一个点。萨可罗波斯科(Sacrobosco)重复了这一观点,他的《论球》是中世纪的著名教材,所有读过他的著作的学生也都接受了这个观点。宇宙相对巨大这个夸张的说法,应该消除一种流传的错误看法,即认为中世纪的心灵安逸地处于一个小而紧密的宇宙内,直到 17 世纪无限宇宙观的接受,这种安逸才烟消云散。如果的确有种安逸感受的话,倒该说它来自假设的宇宙可理解性,而不是它的有限尺度。对人类的心智来讲,一个(比方说)几千万甚或几亿英里的宇宙,比起一个无限的宇宙,几乎没有什么更难想象的,当然,前者或许更容易理解一些。

尽管相对于宇宙来讲,地球只是一个点,但地球有个可测的尺度,至少有三个估算为人们普遍所知。在《论天》中,亚里士多德报告说数学家估计地球周长为 400 000 古希腊里(stades),尽管我们并不知道古希腊里的精确大小,这个估值显然夸大了,它大约相当于实际尺度 24 902 英制英里的两倍。另外一个估值为 252 000 古希腊里,是对真实值的一个良好近似,它来自公元前 3 世纪的埃拉托色尼并通过萨可罗波斯科的《论球》和皮埃尔·达利的著名地理学和宇宙学论著《世界的图景》(*Image of the World*)(写于 1410 年,印于 1480 年—1485 年之间)而在中世纪广为流传。达利从萨可罗波斯

科那里吸取了一些资料,他描述了测量地球周长所用的方法。

如果一个人沿一条子午线向南或北旅行到极点,他将会发现,每升高一度,他已旅行了700古希腊里,用这个数值乘以360度,即得252 000古希腊里或15 750里格(league),这里1里格等于2英里。按照这些数值,地球的周长应是31 500英里。这是对亚里士多德估值的很大改进,但离真实值还相当远。尽管埃拉托色尼估算周长为252 000古希腊里,达利所描述的方法并不是埃拉托色尼所用的方法,埃拉托色尼是用几何学获得他的数值的。达利用的是9世纪阿拉伯人所发明的方法,利用这个方法,沿子午线升高的一度被估算为$56\frac{2}{3}$英里,根据这个数值,达利断定阿法拉加那(Alfraganus)和其他阿拉伯人确定的地球周长为20 400英里(即$360\times56\frac{2}{3}$),这是地球周长的第三个估值,明显小于真实值。

达利《世界的图景》转述了最后这个数值,并为它加上了一个亚里士多德的因果说明。这个数字帮助了哥伦布。哥伦布确信,从西班牙向西航行就能到达印度,他需要有使西班牙权威相信这个如此大胆和耗费的冒险计划的可行性的证据。他知道,亚里士多德对西班牙和印度由同一个海洋相连这个猜测持赞同态度。在他对达利《世界的图景》的私人注释中(该注释本现存于塞维利亚),哥伦布抓住每一个机会强调1度仅仅是$56\frac{2}{3}$罗马里,因而地球的周长应是20 400英里,这是流行估值中最小的一个。既然$56\frac{2}{3}$罗马里给出地球周长的最小数值,为使他的主张更加可信,哥伦布就公开宣称,它是1度的一个精确测量数值,偶尔他还为这个头等重要的数字筑起樊篱。一个较小的地球总该使介于西班牙和印度之间的海洋小一些。为捍卫自己的计划,哥伦布夸大了亚里士多德的支持,他不仅把一个单一的海洋分开西班牙和印度这一观点,而且还把因其狭小仅用几天就能完成航行这一信念归因于亚里士多德。哥伦

布根本没有背离古代和中世纪的观点，而是强烈依赖传统的观点来赢得对他的大胆计划的支持。

尽管传统宇宙学中地球的中心位置在 16 世纪哥白尼提出他的日心说之前一直未受到严重的挑战，但它所声称的完全静止的条件在 14 世纪受到了细致的重新检验。在赋予地球的各种运动中，在科学史上最有意义的是其可能有一个绕轴日转动，这是为解释所有天体的升落而提出来的。

亚里士多德和托勒密双重权威确保了——几乎神化了传统观念，即地球静止地处于宇宙中心，而所有的天体都作日运动，并产生了每日的天体现象。对此，亚里士多德用自然运动和自然处所理论来解释，宇宙的中心是重的土的自然处所，重的土不能用自然方式作水平或圆周运动。托勒密在其《天文学大成》这本在 1543 年哥白尼《天体运行论》出现之前最详尽最有影响的天文学著作中，大量依赖人类经验和常识，列举了一系列颇有说服力的论据，来反对地球的轴转动。尽管托勒密认识到轴转动可以说明天体运动，但他认为它并不能解释地球正上方可以观察到的物理现象。如果地球确实绕自己的轴向东转动，地面之上的所有物体，包括云，就会滞后并显得在作向西运动，这种情况与经验相悖。如果空气随地球一起转动，对一个地上观察者来说，空中所有的东西都会落后或似乎向西运动（当地球向东转动时）。假使所有的物体与地球和空气一起转动，它们就应当永远保持同样的相对位置。既然我们直接观察到空气中的物体改变它们的相对位置，托勒密总结说，地球并没有转动运动。正如我们将要看到的那样，在 14 世纪，这些论题广为人知，并被巧妙地解答了。

支持地球每日绕轴转动而天空不动的论证，在古代就已经有了，其中最著名的是庞托斯的赫拉克利德（约公元前 388 年—公元前 310 年）和萨摩斯的阿利斯塔克（约公元前 310 年—约公元前 230 年）提出来的。这些观点仅被它们的反对者间接地保持下来，

这些反对者提出它们,仅仅是为了驳斥的目的,正如托勒密所做的那样。正是通过这些对它们抱有敌意的著作,敌对的理论作为可疑的科学见解而进入了中世纪欧洲。随着 12、13 世纪拉丁翻译的兴起,在大学学习、教授天文学和宇宙学以及粗略阅读过这方面著作的人都相当清楚,古希腊已严肃提出地球轴转动的可能性,甚至还为它辩护。尽管在中世纪它注定不会被接受,却获得了布里丹和奥里斯姆的某些意外的支持。在对亚里士多德的《论天》的注释中,他们机智地探讨了这个问题。

布里丹相信(可能是他最先写出),星球和行星的日常运动既可用一个不动的天和一个旋转的地球的假设,也可用完全相反的假设来解释。如果赞同地球自西向东的日转动,而不是恒星和行星自东向西的日转动,就要求各行星球继续各自的自西向东周期运动,尽管最外部的球体不动。唯有以这种方式,行星才能改变它们彼此间及相对于恒星的位置。如果地球和行星自西向东作日常转动,地球就会以一个自然天转动一周,月亮一个月,太阳一年,等等。按这种方式,所有日常的和周期的天文学现象,如同采用相反的假设一样,也能轻易地解释清楚。在亚里士多德宇宙力学(见本书后面第 91—95 页)的范围内,原来产生日运动的所有天球现在被假设为静止的,然而余下者,它们的运动产生沿黄道带的自行和逆行,如同先前一样起作用。

正如布里丹认识到的,这个难题本质上是一个相对运动。尽管对我们来讲,似乎我们所处的地球是静止的,而太阳随其天球绕我们转动,相反的情况在物理学上也可能是真实的,因为观察到的天空现象仍然一样。我们可能没有意识到这样一个地球运动;布里丹坚持说,正如一艘运动的船超过另一艘实际上静止的船一样,如果运动的船上的观察者想象他自己是静止的,实际上静止的船就会显得好像在运动。如果太阳真的是静止的,而地球在转动,在我们看来,可能恰好相反。布里丹确信,在严格的天文学基础上,两个假

设中的任一个都能解释天体现象。甚至天文学家也不能解决这个问题,他们唯一关注的是解释天体现象,他们可以选用最方便的假设,却不能决定何者在物理上为真。

似乎,单靠非天文学的标准和论据就能决定取舍。赞同地球每日的轴转动符合通常接受的亚里士多德原理:静止是比运动更高贵的状态。因此,让天体,特别是最外层、最高贵的恒星球静止,而让最低贱的地球转动,不是更合宜一些吗?布里丹还强调,用尽可能简单的方式来解释现象更满意。基于此,假设相对小的地球用最快的速度转动,而让最上、最大的天球保持不动,显得更好一些。为完成一个日转动,地球所需的日速度远小于巨大天球完成运动所需的速度。按照这个后来被奥里斯姆、哥白尼、伽利略一再重复的论点,转动的地球更充分地满足简单和易信的原则。

尽管有这些和其他一些支持地球日转动的论据,布里丹最终还是选择了传统的观点。照他的判定,地球的转动不能解释一支向上射出的箭为什么总垂直地落回它被射出的同一个点。如果地球确实自西向东转动,当箭还在空中的时候,地球应向东转动了一里格,因此,箭应落到一里格以西的地面。一个地球转动论支持者会争辩说,空气随地球一起转动,并带动其中的箭。这就解释了箭落回到它被射出的同一位置,由于地球、空气、箭和观察者共享同样的转动,箭的实际圆形运动将不会被觉察出来。鉴于源自他的冲力理论的一些推论,布里丹认为这个解释不能接受。当箭被射出时,一定量的冲力注入箭内,这个冲力应使箭能抵抗伴随地球转动而转动的空气的横向运动,作为抵抗空气运动的一个结果,箭将落后于地球和空气,并明显地落到其发射点的西侧。既然这与经验抵触,他断言地球是静止的。按照典型的唯名论者方式,布里丹获得了地球转动的一个极重要的物理学——而不是天文学——结论。然而,他并没有粗率地得出结论说,他的经验要求构成了一个必然真理。在14世纪盛行的经院态度中,这样的一个运动已显得离奇古怪,相

反，地球不动似乎比地球作日转动更为可能。

在一个更为卓越的讨论中，尼古拉·奥里斯姆得到了同样的结论。在为地球转动这一假设提出一系列给人深刻印象的理由之后，却让人奇怪地看到：他的正当理由的累积却不足以驱使他离开传统的观点。根据普通的经验，我们“看见”行星和恒星的升落，由此我们推测天体在运动。奥里斯姆也像布里丹一样，求助于船的相对运动来说明这一见解。再者，假如一个人随天空一起作日转动，并能看见地球的某些部分，对他来讲，似乎地球在作日转动，正如天空之于我们一样。

如果地球自西向东转动，就该有恒定的东风。针对这个见解，奥里斯姆辩驳说，空气随着地球一起转动。因为我们在地球上随着空气一起转动，我们的经验类似于坐在运动着的船的密闭舱内的人的经验，即不会有风，因为乘客、空气以及船舱都随船一起运动。

另一个论点，奥里斯姆把它归之于托勒密，非常相似于布里丹的判决性箭经验，尽管奥里斯姆没有提到布里丹。在地球转动的假设基础上，托勒密断言，如果在快速向东运动的船内的一个乘客垂直向上射出一支箭，该箭应落到离船尾相当远的西面。类似地，如果一个人垂直向上抛掷一块石头，由于地球快速地自西向东旋转，石头应落到西方且离被抛掷的位置很远。既然石头落回到被抛掷的同一位置，并未观察到推论的效果，托勒密由此断言地球是静止的。布里丹，正如我们已看到的，他从冲力理论出发，得出了与托勒密同样的结论。因为箭落回到原来发射时的位置，布里丹推断出地球是不动的。然而，奥里斯姆发现箭的回归和地球的转动并没什么不相协调的地方。运动的船再一次被用来说明主要论点。一艘向东航行的船内的运动与静止的船内的运动完全一样。因此，如果一个人垂直把手放下以使手臂与船的桅杆平行，他的手看来只在垂直方向运动，尽管他的手臂实际上同时在作两种直线运动——垂直的与水平的。如果我们现在假定，地球、地球周围的空气和所有

月下物质每日都自西向东一起转动，箭回落到其被射出时的位置，就要通过对两个同时的分量运动，即垂直的和水平圆周的（而不是像手臂运动那样是垂直的和水平直线的）运动而加以解释。因为箭与地球一起作圆周运动，并以同样的速度与地球一起转动，不管它处在地球表面还是被垂直地射入空气之中，箭将上升到其被发射位置的正上方，并回落到起点。对于观察者，他也与地球一起作圆周运动，箭将显得仅有一个垂直分量的运动。奥里斯姆归纳说，究竟是天还是地球发生日运动，不可能由经验来决定。

然而，地球的日转动并非只是一种同等可信的替代理论。从非天文学的角度考虑，这个理论更为可取。自西向东转动的地球会带来一个更和谐的宇宙。所有的天体都沿同一方向周期性运动，周期的长短随离地球距离的增大而增大。这样就避免了另一种不太令人满意的解释：天体同时被赋予两种相反的运动——自东向西的日运动和自西向东的周期运动。自然界的运作，每当可能时总是用最小数量的简单运作来解释。因为静止比运动更高贵，只让上帝处于静止这个至上状态，才是合适的。还有，如果天体的运动随它们离地球距离的增加而减弱，那么，不但地球的运动应当最快，而且恒星球（不再有日运动）会以最慢的速度转动；正如古希腊天文学家提出的，为说明两分点进动（岁差），运转一周大约要 36 000 年。这样就回避了最大最远的天球以极大速度运动的难点。

地球的日转动还排除了设置一个不可见的、无恒星的第九个球体的必要；这个球体的唯一作用就是用来使所有行星和恒星产生自东向西的日运动。上帝总不会徒劳行事的，他通过指定地球作日转动，不仅排除了第九个天球存在的必要性，而且还创造了一个不至于太复杂的世界。

上帝喜欢以最直接、最简单的方式行事，又被用来解释上帝的神奇干预：为了约书亚的军队（见约书亚记 10:12—14），上帝让太阳停留在基遍（Gibeon）上空而延长白昼。既然与天体相比地球仅像

一个点，暂时停止地球的转动这样最低限度的干扰也可以产生同样重大的影响。鉴于省事省力的考虑，也许上帝确实是以这种方式来完成这个奇迹的。

奥里斯姆在给出一长串给人深刻印象的论证的最后，却奇怪地让人看到，他不仅相信在科学上不能决定这个问题，而且还紧紧抓住传统观点不放。地球静处于宇宙的中心，天体绕它作日运动。地球的转动，正如基督教的某些教义一样，与自然理性或常识是相悖的。教义可以凭信仰而接受，但在确定一个物理或科学问题时，信仰却不足以使人抛弃自然理性。在物理学、天文学和宇宙学基础上，两种对立的假设同等可靠，科学和经验不能决定取舍它们中的那一个。奥里斯姆曾为他最终拒绝了的假设进行过精心、卓越的辩护，其真实意图是要保护基督教信仰免遭基于人类理性、经验和科学的证明。如果理性、经验和科学对一个相当直接的科学问题都无法作出最终的说明，那末当它们被粗率地用来证明只根据信仰就会相信和接受的宗教教义时，必定是更加无能了。

利用理性去混淆理性，奥里斯姆承认自己继承了怀疑论和或然论传统，这个传统来自当神学家利用哲学来糊弄哲学家时哲学和神学两者间的斗争。奥里斯姆，作为神学家和科学家，把战场移到了科学领域并用科学和理性来迷惑科学家。真知识单靠信仰就能获得。关于物理世界方面的事，奥里斯姆模仿苏格拉底，欣然坦白“我只知道我一无所知”。

尽管布里丹和奥里斯姆都断言地球并没有转动运动，但他们的许多论点却支持地球的转动，其中一些论点还出现在哥白尼捍卫日心说（日心说中地球不但有日转动而且绕太阳作年转动）的辩护之中。这些论点包括：由船的运动所说明的运动的相对性；让地球用一个非常小的速度完成一个日转动比起让巨大天体以巨大的速度来完成一个日转动要更优越一些；空气与地球一起作日转动；上升和下落物体的运动是由直线和圆周分量合成的结果；以及既然静止

是比运动更高贵的状态，让低贱的地球转动，比起让高贵的天球转动更为合宜。哥白尼是否借用了布里丹和奥里斯姆的部分或全部论点呢？布里丹、奥里斯姆的著作在东部欧洲人们是知道的，或许15世纪晚期在克拉科夫大学还被人们研究过，其时哥白尼正是那所大学的一名学生。除了惊人的相似——虽然这种相似似乎有点出乎意外——还没有证据说，哥白尼知道这些论著或者从中世纪文献中吸取了一些论点。但至少，布里丹和奥里斯姆值得我们称颂和钦佩，因为他们提出了值得哥白尼引用的一系列支持地球绕轴转动的论点。

然而，否定地球的日转动并不意味着地球根本就没有任何运动。确实，布里丹等人在考虑地球转动这同一问题时以及他在《关于亚里士多德〈论天〉的问题》一书中，都考虑到整个地球有一个微小的永不停息的直线运动，这个运动是由地球重心的连续漂移引起的。地球的重心只是一个点，亦即所谓地球的整个重量所集中的那一点。如果地球是个均匀球体，它的重心与几何中心显然重合。但地球并不是均匀的，因为它是由密度和重量各不相同的部分所组成。因此，它的重心不同于它的几何中心。地球的重心力图与宇宙的几何中心合一，地球的运动正是这个永不停息的趋同性的不可避免的结果。布里丹对这个问题的见解影响甚大。按照他的观点，该过程伴随大量细小土块被河流从山地带到海洋深处而发生。根据这种方式，地球的高地会变轻，低洼区域会变重。在重量重新分布过程中，地球的重心也在漂移。地球的引力中心——而不是它的几何中心——力图与宇宙的几何中心重合。既然这一点已被广泛相信，由此即可得出，地球将经受一个轻微的运动，直到重合得到实现为止。当这个重合发生时，原先的低洼区域就会被抬升并形成新陆地。现今隐没于重心附近的部分被逐步推向地表，最终将露出水面并向过去被侵蚀的山脉的高度发展。当地球的重心连续漂移直到与世界的几何中心重合时，侵蚀过程总是被原先隐没部分的显现

所逆向平衡。

这里描述的机制和过程同样可用来解释山脉的形成。当软石头被风化侵蚀时，它们被带到海洋，留下的硬石头因地球重心的移动而不断升高，经过一个相当长时间，硬岩石的累积将形成高山。很早以前，阿维森纳把软岩石的风化侵蚀作为山脉形成的一个附属因素，并为山脉形成提供了一个更好的解释：遭受深谷切割后留下的硬岩石高高凸起并最终成为山脉。最令人感兴趣的是阿维森纳还考虑了地震对山脉形成的作用，这一点他不同于布里丹。确实，他认为地震作用比风化侵蚀更为基本。尽管如此，布里丹的地质学理论在 14 世纪被广泛加以探讨，晚至 17 世纪仍然被耶稣会士所讨论。莱布尼兹尽管拒绝布里丹的地质学理论，却认为这个探索是非常巧妙的。

从地球到月上区，经院注释家采用了亚里士多德宇宙学的一个简化形式。亚里士多德的体系以较早的克尼多斯的欧多克索（Eudoxus of Cnidus）和卡利普斯（Callippus）著作为基础，它由 55 个同心天球组成，这些天球绕通过宇宙中心的地球的轴发生转动。亚里士多德直接把他的同心球宇宙学建筑在卡利普斯的数学体系之上。在卡里普斯体系中，（比方说）土星被指定了总共 4 个球以说明它的运动：一个为日运动，一个为其沿黄道或黄道带的自行，另外两个为观察到的土星沿黄道带的逆行。亚里士多德为这个数学体系提供了一个物理诠释。为了防止土星的自行和逆行带动紧靠土星之下的木星，他引进了 3 个展开的球，它们的作用是阻抗会带动土星自行和逆行的 3 个天球的运动。因为所有的行星都有日运动，为此每一个行星的日运动都指派了一个特定的球体。加在一起，总共 7 个球，而不是 4 个，现在为土星所需。类似地，亚里士多德认为，对所有的行星（除了月亮）增加逆向转动的球是必需的。这样，卡里普斯的 33 个球被增加到 55 个。中世纪人们没有去处理这么多相互嵌套的，一些朝一个方向转动，而另一些朝相反方向转动的球，

而是引进了一个简化的体系。8个(偶尔9个或10个)物理的同心球(加上一种非天文学上的球——最高天球)取代了亚里士多德的55个,7颗行星一颗一个,再加上作为恒星载体的第8个球(见图5)。行星被假设为固定在或嵌在它们各自的球中,并被这些球带着运动。这些球对上帝的爱维系着它们的运动,上帝把它们作为爱的客体而间接推动它们。正是它们尽可能地接近上帝的热望,带动着神圣的行星一圈又一圈地做着圆周运动。勇敢的创新者,像布里丹,可能设想是冲力推动了行星球,但大多数人都同意摩西·迈蒙尼德的说法:“正是爱,使得世界转动。”

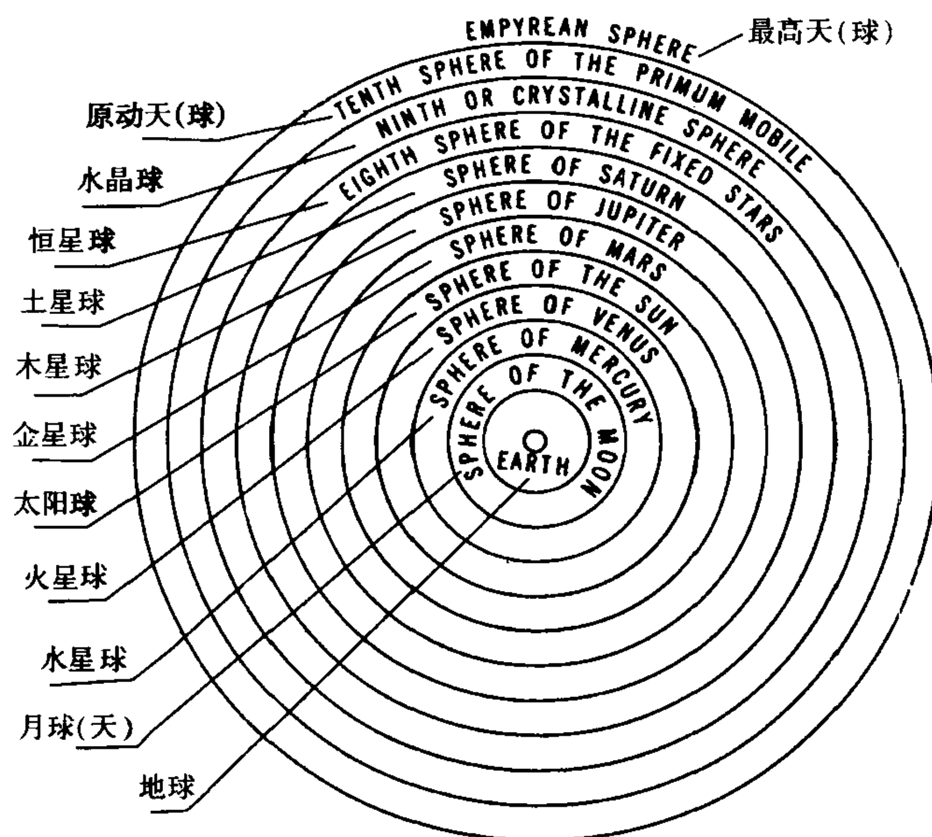


图5

在天文学上,这个同心球体系比起亚里士多德体系显得更为不足。它甚至不能解释行星距离的明显变化。为处理行星运动的技术性难题,托勒密《天文学大成》或源自该著作中高度发达的数学

天文学是必不可少的。在托勒密体系与亚里士多德体系之间的诸多差异之中，托勒密体系允许有绕不通过宇宙中心的轴的转动，本轮（周转圆）和偏心轮（偏心圆）的天文学由此发展起来（图6）。在17世纪，开普勒的椭圆代替它们之前，本轮和偏心轮学说一直是专业天文学的根基。在中世纪几乎没有人掌握托勒密天文学的复杂技巧，经院争论主要关心它们是不是物理存在。甚至像阿威罗伊这样热忱的亚里士多德主义者也坦率承认，偏心轮和本轮对行星位置的计算和预测，即用来解释天文学现象是合适的。但他强烈反对少数人所持的见解，即认为本轮和偏心轮是宇宙内实际的物理存在。接受这种见解就得完全抛弃亚里士多德物理学和宇宙学，因为它违背了一条基本原则：宇宙的几何中心是唯一的天体运行的中心。因为这个及其他理由，阿威罗伊的立场被几乎所有的经院学者所支持。他们一方面赞成亚里士多德的8个球体学说，同时又承认托勒密的天文学作为解释天文现象是必需的。

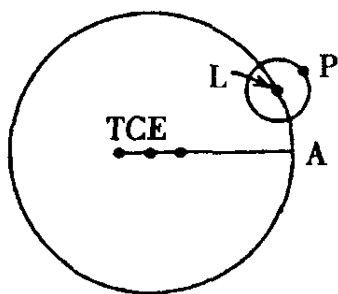


图6 偏心轮上的本轮

“本轮带动行星（P）。本轮中心（L）的运动相对于点（E）——而不是相对于均轮（即，L经行的圆形路径）的中心（C），也不是相对于地球的中心（T）——被认为是匀速的，即∠LEA被认为是均匀地增大的。点（E）被称为‘等值点’。通过适当定位点E、C和T，确定本轮与均轮的直径比，并适当选取各圆周的方向、速度和倾角，表观的不规则就能得到解释。”

（引自 Morris R. Cohen and Israel Drabkin, *A Source Book in Greek Science*, Harvard University Press, 1958. P.219.括号内的字母说明系作者所加。引用此图及说明得到了哈佛大学出版社的允许。）

中世纪宇宙的月上区，以及它的一系列紧密地相互嵌套的同心球，有些人认为终结于第 8 个球体——恒星球，而另一些人认为终止于不可见的第 9 个球体。接受世界有限性就不可避免要追问超出最外层天球的存在的可能性。亚里士多德本人已经提出了这个问题，并断言所有的存在物都被容纳在我们这个有限的世界之内。在我们这个世界之外，既没有任何物质存在，也没有任何东西可用于建造另一个世界。因为亚里士多德的位置概念要求有一个物体去占据它，因此他推断说，位置不能存在于我们的世界之外。世界之外不存在物质性物体，还暗示了真空的不可能性。真空被定义为某种东西，其内放置一个物体是潜在地可能的。即使时间也不能存在于世界之外，因为时间依赖于物体的运动。但如果物质、位置、虚空、时间都不能存在于天外，那么肯定没有什么东西在世界之外，它仅能被描述成彻底的绝对的匮乏。其他人，包括许多后来的亚里士多德主义者，却发现亚里士多德的回答过于狭隘，不能令人满意。他们禁不住询问，什么真实地存在于宇宙之外？其他的世界？空虚的空间？如果一个长矛或武器被掷出并穿过最外层天球，它的倾向将是如何？亚里士多德的回答无法阻止这些喋喋不休的疑问。

直到 1277 年，基督教作家还没有认真考虑其他世界的可能性。上帝的创造是独一无二的，人是“他”的焦点，人类不可抗拒地朝向上帝的最终审判日，一个世界足以演出这出戏剧。在一个世界这个问题上，亚里士多德与他的基督徒追随者是一致的。但是如果“他”愿意，上帝能创造其他世界吗？在 1277 年之前，这个假设的问题很可能没有被严肃地讨论过。1277 年之后，智力环境发生了急剧的变化，关于其他世界的问题，以及别的一大堆非同寻常的惊人问题，不仅被提了出来，对它们的考虑也变得司空见惯。1277 年禁单中第 34 条否定了上帝能创造多个世界，给这一条定罪刺激了关于其他世界的讨论。人们必须承认上帝可能已经创造了，或还将创

造不同于我们世界的世界。75 年到 100 年之后，持这种立场的作家，如琼·布里丹、尼古拉·奥里斯姆和萨克森的阿尔伯特，在讨论多重世界的可能性时，心中都惦记着 1277 年禁单。他们不仅提出了新的宇宙学观点，而且试图解决那些向亚里士多德物理学郑重挑战的假设的物理难题。他们经常把亚里士多德物理学原理推广到其他假设的可能的世界，尽管亚里士多德明确地否定了这些世界的存在。

至少提出过三种不同类型的多重世界。第一种是一系列在时间轴上相继的单个世界。亚里士多德否定了这种观点，但这种看法曾受到恩培多克勒（Empedocles）的拥护。中世纪这种观点没有成为讨论的焦点。上帝可能在过去已经创造并毁灭过世界，也许还可能用另一个来代替这一个世界，在中世纪人们坦率地接受了这个观点。第二种多重世界理论与科学幻想接界。它可能仅被看成是心智练习，几乎未被作为重要的可能性而予以考虑。这里多重性是同时的，但共存的世界相互嵌套，一个包容于另一个之中。奥里斯姆坚持说，无论是经验，还是理性，都不能证明这种多重世界是不可能的。

第三种，也是历史上重要的一种说法，同样遭到过亚里士多德的排斥。这个多重世界理论认为，在一个想象的空间内可能同时存在彼此不相交叠的分立的世界。这里说的是可能性，而不是可信性。按照人们所接受的亚里士多德的观点，这个可能性似乎是极端不可能的。亚里士多德认为，如果重元素能被置于我们的世界之外，它们总是倾向于落向我们世界的中心，因为宇宙只能有一个真正的中心。奥里斯姆没有信服这个解释，他争辩说，对于重的和轻的物体，“上”和“下”仅仅标明重的物体自然地运动到轻的或稀薄的物体中间，当重物体被轻物体包围时，重物体将处在“下”而周围的轻物体将处在“上”。但如果一个重物体或一块土在我们的世界之外，并被一个真空隔开，重物体或一块土就不会朝我们的世界的

中心运动,因为若没有一个轻物体(如气或火)包围这个重物体,上和下就是不可区分的。因此,如果虚空介于共存的各个世界(包括我们的世界)之间,与每一个世界相伴的重物体就不会倾向于朝我们世界的中心作"向下"运动,因为真空内必然缺乏轻物体,而若要能够分辨出"下"运动,就必须有用来包裹重物体的轻物体。因此,如果确有一个像我们世界一样的另外一个世界,那个世界的地球和诸元素将保持在那儿,它们的行为与它们在我们世界的相应者一模一样。按照亚里士多德的观点,既然所有存在的物质都在我们的世界之内,就没有别的世界能够被创造出来。针对这一见解,中世纪的神学家和哲学家反驳说,上帝,凭借自己的全能,能够从一无所有中创造出新物质,创造出另一个世界。

尽管有这样那样的论证,却没有一个人真正支持多重世界理论。显然,他们满足于证明:如果上帝确实创造了别的世界——当然,只要"他"愿意"他"就能做到——这些世界就该与我们的世界非常相似,因为受制于同样的物理原理和定律。

即使宇宙之外没有别的世界,1277 年之后人们还是执著地追问着超宇宙的存在。如果一个物体被推出最外层天球,它的倾向是什么?对这个令人头痛的假设,在枯涩的亚里士多德宇宙学中没有任何理性的基础,但人们终于找到了一个肯定性的且有重大意义的解答:在我们这个物质性的、无真空的有限世界之外,存在一个无限的虚空。出于神学的考虑,这个答案并不是作为一个纯粹的可能性,而是作为由上帝的无所不能无所不在推论出的一个真正的实在。

在古代,一些斯多噶主义者,尽管在下面两方面与亚里士多德一致:(1) 宇宙本身是一个没有真空的有限球体(充满元气);(2) 所有存在的实在和物质都被包容在它之内,但他们坚持说,我们的有限世界被一个能吸纳物质并作为我们有限世界的容器的实际存在的三维虚空所包围。无限虚空是我们有限宇宙的一个容器。确

实,这似乎是它的唯一功能,因为宇宙与无限虚空之间的相互作用被否定了,基于虚空没有任何自身的特性可言。虚空决不能影响物质世界。世界密闭于无限虚空之中,它不能消散成虚空。但即使世界被虚空所包围,他们问,为什么虚空必须被假设成无限的?在回答中,他们争辩说,因为没有物体能存在于世界之外,所以没有物质能限制虚空;既然假设虚空能限制虚空或假设虚空应该在一个点而不是另一个点终止——这显然违背充足理由律——是荒谬的,虚空的无限性似乎是一个必然的结论。

尽管斯多噶宇宙学在中世纪几乎不为人所知,它的一个主要论点却通过辛普利丘的著作传到西方。莫比克在 1271 年将辛普利丘对亚里士多德《论天》的注释译成了拉丁文。辛普利丘指出,斯多噶派已经证明了世界之外有一个真空存在。他们问,如果一个人在世界的最外端伸展他的手臂将会发生什么?要么手臂将伸到世界外部,可以推论,手臂外有一个真空;要么手臂将遇到一个物质性障碍,这时就能站在障碍的最边缘再伸展他的手臂。既然世界被假设成有限的,这个动作只要重复有限次,最终手臂将遇不到任何障碍了,可以推论手臂处存在真空。尽管这个论证被阿奎那、布里丹、奥里斯姆及其他人引用过,它的意义却因另一个古代传下来的概念而黯然失色。

在一本写于公元 2 世纪或 3 世纪佚名的拉丁文本赫耳墨斯派对话集《阿斯克勒庇俄斯》(Asclepius①)中,伟大的赫耳墨斯对阿斯克勒庇俄斯解释说,如果虚空存在于宇宙之外(这一点他持怀疑态度),它应该仅仅是缺乏物体,但决不会缺乏唯有心灵才可以理解的精灵物质。因为在中世纪和文艺复兴时期知道有《阿斯克勒庇俄斯》一书,这本对话集可能传播了一个充满精灵却没有物质的超宇宙空间的概念,它注定在关于宇宙之外可能存在什么的讨论中扮演

① 希腊神话中的医神——译者注。

重要角色。

《阿斯克勒庇俄斯》一书对托马斯·布雷德沃丁（Thomas Bradwardine）的影响是可以看出的。布雷德沃丁在他的长篇神学论著《反对裴拉鸠斯主义》中，基于上帝的全能和遍在，为超虚空这个概念提供了基督教理论基础。布雷德沃丁提出，上帝如果同时存在于许多位置，而不仅仅存在于一个唯一的位置，那么"他"的完美性将更加圆满。由此得出：上帝必定存在于世界的各个部分，也存在于真实世界之外的一个虚构的无限虚空中的每一处；既然上帝在世界之外的一个无限虚空中无处不在，那么——这里我们看出《阿斯克勒庇俄斯》的影响——尽管没有物体，虚空也能存在，但没有上帝虚空就不能存在。

神学考虑似乎已迫使布雷德沃丁把这些空位置与上帝联系起来。在世界被创造之前，世界的一个位置必定已经存在——事实上已经存在是无穷多个可能的位置，因为上帝可以在"他"愿意的任何地方创造这个世界。如果上帝在"他"创造世界本身之前已经创造了这个位置或多个可能的位置，那么，位置，而不是世界，将是第一创造物，创世的唯一性将会因此失去。为逃避这个两难困境，布雷德沃丁假设，这个世界的无穷多个可能的位置是永恒的和非创造的。然而与上帝的同永恒并不意味着与上帝无关。这样的一种解释意味着存在两个非创造的实体，并大大削弱了上帝的至高无上地位。因此，在某种意义上，这些位置和空间必须与上帝相关联，甚或等同于上帝。怎样理解这一点，布雷德沃丁没有解释。位置在上帝之中或上帝在位置之中？位置是上帝的属性？布雷德沃丁忽略了这些问题，他力图避免落入更明显的和更直接的神学陷阱，同时声称他确信上帝在一个虚构的、无限的、除了上帝之外一无所有的位置中无处不在。

尽管上帝无处不在，布雷德沃丁告诫人们，不要在一个有广延的有维度的实体这一通常意义上把"他"描述成一个"无限的大

小”。上帝仅在形而上学意义上是无限广延的，而没有实际意义上的广延和维度。尽管这样说可能显得不好理解，但却是布雷德沃丁立足于当时基督教神学，针对亚里士多德对超宇宙虚空的否定而作出的一个回答。他这样做，就把自己置于与教会杰出人物如奥古斯丁、阿奎那不同的立场，他们支持亚里士多德的立场。他的结论也与邓斯·司各特（约 1265 年—1308 年）及其门徒不一致。他们争辩说，上帝的意愿，而不是“他”的遍在性，是神圣创造的基础。上帝能作用于远离其实际所在的位置，并能在远离其所在的位置行事，因而就不必假定上帝预先处在那个他在那儿创造了我们这个世界的空位置上。根据这个理由，司各特否定了上帝遍在于一个无限虚空的必要性。上帝存在于一个超出我们世界的无限虚空中，正如布雷德沃丁所描述的，是中世纪宇宙学一个崭新的意义重大的组成部分，它刺激了晚期中世纪和文艺复兴时期的深入讨论。

尼古拉·奥里斯姆在对亚里士多德《论天》法文注释（完成于 1377 年）中认为，人类的心灵自然地倾向于设想在我们有限世界之外还存在另外的空间。相信一个有限的世界实际上占据了存在的全部空间，直觉看来似乎不太令人满意。超宇宙的空间被描述成无限的、不可分割的虚空，这个虚空不仅是上帝的无限广延，而且就是上帝本身。把它等同于上帝，超宇宙的虚空显然就被设想为一个存在物了。奥里斯姆甚至把它想象成一个无限的空间容器，其内至少可设想一种绝对运动：上帝选择沿一条直线移动我们的有限球形宇宙。奥里斯姆提醒我们，如果否定上帝做这件事的能力，就等于接受一百年前在巴黎被列入罪状的第 49 条（参见第三章）。这个被视为是绝对的，因为这个世界之外不存在任何其他物体可用来作为该运动的参照。萨谬尔·克拉克（Samuel Clarke）在著名的《克拉克-莱布尼兹 1715—1716 通信集》中，为反对莱布尼兹，也提出了这个关于绝对运动的有趣解释。在为牛顿的绝对空间辩护时，克拉克争辩说，如果空间仅是共存事物之间一个关系，正如莱布尼兹可能持

有的见解一样，并且上帝移动了整个有限世界，不应该说这个世界经历了任何运动，因为在世界之外不存在任何别的东西可以与世界相关。如同奥里斯姆可能会认为的那样，克拉克认为，对上面假设条件下运动的发生予以否定是荒谬的。

将上帝的广大无边和无限广延认同于一个超出世界的无限虚空，引出了一些令人困惑的问题。这些问题在中世纪很少受到注意。上帝充满的无限虚空是一个物理的三维空间还是一个无维度的实体？前面我们已经看到，斯多噶赞同一个无圣灵的三维无限虚空。不同于斯多噶，中世纪的基督徒遇到一个极严肃的神学寓意的难题。尽管史料不足并且显得模棱两可，似乎他们在大多数情况下都采取一个无维度的无限虚空的看法。16 世纪某些耶稣会注释家非常熟悉早期中世纪的诠释并经常反映他们前辈的见解，他们否定了世界之外的无限虚空是一个有真实维度的真实量。它没有任何实际的或实证的特性，因为这会暗示独立的与上帝共存的永恒。通常用“虚构的”这个词来描述它，或许正是因为断言它缺乏真实的维度属性和实证的实在性。尽管有时用术语，像长、宽、高或深来描述它，好像真有了维度一样，但这样的描述是在一特殊的超越意义上使用的：神圣存在的“维度”根本就不是常义上的维度，可又不得不借用日常语言来描述。例如，当乔安内·德·拉帕（Johannes de Ripa）这位中世纪作家（约写作于 1350 年）提出无限虚空实际上是三维的时候，就把无限空间的维度区别于上帝的无限广延。他认为，两者不是同样广阔的，上帝的无限广延包围着并且无限地越出虚构的无限虚空，虚构的无限虚空只是缺乏实际的和实证的特征。

被创造的、无真空的世界之外的一个无限虚空中一位遍在的上帝，这个概念的发展，不能离开从 1277 年禁单解放出来的强大智力潮流而孤立地加以解释。强调上帝全能以及由此而来的无数的、有时是奇怪的推论，充斥于 14 世纪神学、哲学和科学思想。仅仅因为亚里士多德已否定了超世俗的存在，一个全能的上帝的存在也不能

超出“他”自己所创造的有限宇宙，对神作这样限制必定显得令人恼火并且毫无根据。亚里士多德的这一证明过去一直受到人们的青睐，而今在14世纪神学和哲学的阴云笼罩之下已然失却其独特的魅力。1277年的精神迫使重新评价传统宇宙学和物理学之外的可能性理论，即使它几乎没有提供新的实在和定律。禁单中的第49条（见上，第三章）就与关于超宇宙的虚空问题有关，并因此而被布雷德沃丁和奥里斯姆引用。且不论会不会留下真空，否定上帝让世界作直线运动的能力，就要招致革除教籍的处分。对第49条推论的思考，其焦点最终大概落在上帝让世界作直线运动留下的一系列虚空位置上。所有这些空位置都处于有限宇宙之外，有限宇宙正在穿越这些位置。因此如果某东西存在于世界之外——哪怕只有虚空——难道没有理由假设，如果上帝遍在于世界之内，难道“他”不应存在于世界之外的任何地方吗？但是，这是我们推测重建的下一环，如果世界之外的存在包含一个无限上帝，难道这个超世俗虚空不该是，甚或不必是无限的吗？确实，是否有什么可信的论据来支持它的有限呢？它的边缘又在哪儿？但如果上帝遍在于世界之外的一个无限虚空中，并与它同样广阔，它肯定不是一个广延的三维实体，因为上帝不能在任何实际广延的或有形的意义上有维度。因此，虚构的无限虚空被设想为无维度的，或在超越意义上有维度的，正如经常出现的形容词“虚构的”试图传达的一样。或许，按这种方式，一些学者最终相信存在一个被无所不在的上帝充满并与“他”相伴的、无维度的、虚构的、无限的虚空。

中世纪关于一个虚构的无限的超宇宙虚空的一些基本观点，在17、18世纪继续保持着影响力。例如，萨谬尔·克拉克坚持上帝存在于无限虚空之中。他把虚空视为仅仅缺乏物体。奥托·冯·盖吕克（Otto von Guericke），在其应当受人称颂的“关于虚空的新马德堡实验”（出版于1672年）一文中，提出了在我们有限球形世界之外存在着什么的斯多噶问题，并下结论说，那儿是一个上帝充满的、无

限的、虚构的虚空。冯·盖吕克注意到“虚构”这个术语有着多重含义，他认为提一下其中的一些用法是有益的：虚构的空间被设想为什么也没有，无任何实在，所有存在的否定，一个完全虚构的实体，无所不在的上帝自身。

如果说所有这些中世纪的影响都是清楚无误的话，17、18 世纪新的变化也是很明显的。冯·盖吕克把无限的、虚构的空虚空间等同于真实的空间，他把真实的空间描述为一个真实的、可实证的三维实体。这一描述在 17 世纪极为流行。关于大气压力的实验和发现——特别是帕斯卡、冯·盖吕克和罗伯特·波义尔（Robert Boyle）的工作——已经显示，大自然并不憎恶真空，像在中世纪所相信的那样；而且大气压力随着空气离地面的高度的增加而降低。借助气泵，人们在一个密闭容积内产生了人造真空。尽管有些人否认对这些实验的解释，许多人都热衷于接受人工真空和自然真空两者都实际存在的观点。此外，古代原子论及其无限伸展的三维虚空观，如同斯多噶宇宙学——一个密闭的有限世界被一个真实的三维超世俗虚空所包裹——一样，也都有了热心的信奉者。这些不同渠道的累积影响，可能已促使虚空的支持者推测虚空的真实存在和三维属性。三维的真空已是新物理学的一部分。

对那些还采取中世纪的观点，认为上帝在一个无限虚空中无所不在的人来说，现在面临一个真正的窘境。如果上帝充满一个三维空间，难道不该把“他”设想成一个实际的物理上的广延的存在？但如果“他”是无维度的，在什么意义上能说“他”充满了一个三维空间？在中世纪，这个困境大多被回避或忽视了。这不仅是因为神学的缘故，而且因为，当把亚里士多德物理学和宇宙学应用于世界的规则运行时，超宇宙的、无限的虚空问题就与普通亚里士多德物理学和宇宙学不再相干。或许，在众多其他理由中，这个理由解释了：经院学者何以一方面接受超世俗虚空的实在性——毕竟，上帝能在那儿创造一个物体；另一方面又拒绝虚空的实际维度属性，并

赞同在超越的意义上把“广延”、“维度”这些术语用于上帝。17、18世纪的情形却大不相同，既确信虚空是三维的，又确信上帝在其内无处不在，许多人被迫把上帝设想成一个广延的三维存在。譬如，约瑟夫·拉夫森（Joseph Raphson）相信，只要上帝真实地在空间中展延，“他”就该无处不在，因为“他”的无处不在是所有事物存在的必要前提。他声明经院哲学家在超越的意义上设想上帝的广延，这表明了他熟悉中世纪的论证，但他否定了经院哲学家的这个看法。他设问，广延的存在怎么能来自超越的而不是实际广延的东西呢？牛顿、萨谬尔·克拉克、亨利·摩尔（Henry More）等人都赞同拉夫森的观点，他们不仅把上帝与一个物理上广延的无限虚空联系在一起，而且偶尔似乎在说，上帝确实在物理空间中广延。莱布尼兹试图阻止这个倾向，因为它会把上帝变成一个三维的物质存在。确实，斯宾诺莎迈出了最关键的一步，他把广延性作为上帝的一个属性，他认为，上帝是一个无限的有形存在。在中世纪，上帝的非维度属性决定了一个虚构的、无维度的、超世俗的、无限的虚空的特性，而在17世纪和18世纪早期，正是新物理学的三维无限虚空，悄悄地将三维属性赋予了上帝。

第六章
结 论

勾画中世纪亚里士多德科学的显著特征及其一般命运，本应包括许多相关的论题，这里我们仅就其中的少数几个作了详尽阐述，然而，一些尝试性的结论尚能由此得出。

很清楚，中世纪科学不是盲目地重复或琐屑地修饰亚里士多德的思想和见解，中世纪科学上主要人物对亚里士多德科学作了大量的批判，这些批判不仅立足于神学，而且还直接基于科学。在中世纪经院科学的几百年内所发展出的新理论之中，有些是针对亚里士多德对一个给定问题答案不能令人满意而提出来的，如冲力，超宇宙的虚空，运动的指数定律；有些标志着为寻找同等可信的替代理论而作的努力，如世界的多重性和地球的转动；还有一些则完全独立于亚里士多德体系，如形式和性质的张弛，平均速度律。

但在16世纪和17世纪之前，这些进展既没有促使人们去重建亚里士多德的世界图像，也没有用一个新的图像来取代它。对此很难找到解释的理由。推翻亚里士多德体系迟迟不成诸因素中，首要的大概是这个体系高度完整的结构，否定某些关键部分就要导致其余大部分的坍塌。当修改它的时候，被改变的部分往往正是按照亚里士多德原理而被改变的，新的变化和补充尽管常与原来的内容不

协调但又纳回了亚里士多德的体系并再度成为其中的一部分。正是这样,冲力理论用一种无形的力的推动取代了与空气的外部接触;轻和重,原是作为亚里士多德物理学根基的一对对立面,现在被用来作为混合物中相反的力(动力和阻力)而起作用;地球的直线运动,这个与亚里士多德见解不相容的观点,是用地球的重心力图与宇宙的几何中心重合而产生的连续移动来加以解释的,而宇宙的几何中心却是亚里士多德物理学和宇宙学的一个基本特征。

这些大量的补充和修正是零散的,每一个都是为了回答单个的难题而形成的,它们仍处在亚里士多德的体系之内,尽管常常显得不相关或不谐和,但都未能为毁灭这个大厦打开缺口。陈旧的亚里士多德宇宙学经受住了几个世纪的变化和补充。事实上,尽管大多数运动学命题在 14 世纪发展得如此卓越,但并没有汇集成一个较大的整体以产生新力学。这项伟大的成就还得等待伽利略的到来。伽利略的成功,部分来自于他清楚地认识到需要从大量混乱的定性变化研究中提炼出能够恰当数学化的部分。

亚里士多德体系的超常稳固或许曾被这一事实所强化:许多新概念,甚或那些明显与亚里士多德物理学和宇宙学不相容的概念,都是以假设的形式得到阐明的,由这些假设而来的大量推论并未被认真地应用于自然界。正如我们已经强调的,这种事态是由 1277 年禁单造成的。显然,就一个方面来讲,禁单削弱了亚里士多德科学和哲学在学术界的牢固地位。作为 13 世纪亚里士多德学派自然哲学家标志的信心和勇气,现在失去了生存的基础。对上帝全能的强调,与对科学和哲学确实可信的根基的合法批判连在一起,相当大地改变了科学讨论的性质和范围。13 世纪想都不敢想的替代解释或可能性理论,在 14 世纪不仅被提了出来,而且还被热烈地探讨。假如在探讨这些新观点和新概念的推论的同时,还带了一只眼睛来看看它们在自然界的应用的话,中世纪对亚里士多德体系的信赖可能早已荡然无存,甚至会创造出一些新的体系来取代它。事实

上,对亚里士多德物理体系的信心确实被削弱了,但这主要是由于对一般物理解释的信心普遍缺乏。大多数经院作家并不想去毁坏亚里士多德世界图像,全面考虑之后,他们甚至认为它本来就是合理的,本来就能满足一个物理系统。在1277年禁单和上帝全能观念的影响下,他们的目标是去证明大量亚里士多德物理解释的替身不仅在逻辑上是可能的,而且在某些情况下还与亚里士多德的一样可信。这个探索是令人鼓舞的,并且富于成果,但并没有因此而严重地削弱亚里士多德物理体系的统治地位。直到16世纪,亚里士多德体系才遇到强有力的对手。哥白尼革命性的日心体系本该加速它的崩溃,但宗教改革和反宗教改革运动又在为亚里士多德物理学和宇宙学构筑更深更牢靠的防御壕沟。14世纪热烈讨论过的令人兴奋的,有时甚至是意义重大的反亚里士多德替代理论,现在被忽视乃至被忘怀了。新教徒和天主教徒一样,牢牢抓住亚里士多德的宇宙学,同时猛烈地攻击哥白尼宇宙学。唯在17世纪,哥白尼日心体系才取代地心的亚里士多德宇宙学;唯在那时,从假设的地球日运动和年运动推导出的物理结论才一并摧毁亚里士多德物理学。

然而,为什么这些事件耽搁得如此之久?它们不该早些发生么?毕竟,经院学者,如布里丹、奥里斯姆,讨论过地球可能绕自轴作日转动,并且某些论证先于哥白尼。假如他们知道萨莫斯的阿利斯塔克的完全的日心假设,无疑也会以非常相似的方式来考虑地球是否也绕太阳作年转动。或许,标志着朝向科学革命迈出了重大一步的日心体系在14世纪就提出来了。也许另一些革命性理论也已得到了阐明。然而事实上,这又是极不可能的。在很多可以用来表明它的不可信性的推测论证中,这里只追究一个,它涉及对待“挽救现象”的态度和关于物理实在的看法。

14世纪,1277年禁单以及由此而来的哲学、神学推论为科学和哲学创造了一个极不寻常的智力氛围,人们不再广泛相信自然界的因果关系和规律确实能够掌握,现在的事情是在一系列相互竞争的

理论中选择可能性最大的一种,甚至那些心底里相信可以获得科学真理的人——通常是文科硕士——也被迫改变态度,把他们的结论表述成假设的形式。由此发展出一种精致的实证态度,14 世纪梅顿学派和巴黎学派的许多成员(他们贡献了大部分 14 世纪科学思想)正是本着这种态度抛弃了获得物理世界的真实知识的希望。他们把自己的聪明才智用到讨论假设的问题上来,如形式的张弛;或者沉醉于虚构难题的臆想之中,比如在地球和月亮之间上帝创造的真空之内的物体该如何行动。正如我们已经看到的,针对一系列假想的问题提出了许多奇妙的解答,但对科学进展直接有益的成果几乎没有。他们显然满足于就假想的问题"按照想象"发挥他们的经院式才智。解答这些问题并不是为了把它们应用于自然界,事实上,逻辑上的一致性而不是物理上的实在性,是主要的目标。无疑,某些论题、结论以及提出来的答案,在 16、17 世纪开展的科学革命中发挥了重大作用,例如关于地球日转动的讨论,关于形式的张弛的文献中涉及到的运动学定理,以及关于假设的真空的思辨等。但这些卓越的结论和答案,只有把它们从按照想象,以"挽救现象"为标志的探索自然的方法中分离出来并与对物理实在的探索结合起来,才能在新科学的发展中发挥作用。唯在那时,科学历史上才会出现重要的新途径。唯有那些提出反亚里士多德的(或者至少是非亚里士多德的)科学理论、定律和解释的人也转过来研究物理实在,才有可能摧毁亚里士多德科学并用新的宇宙学和物理学来取而代之。随着哥白尼的出现,这样的事情才确实发生。

与 14 世纪先驱们形成对照,哥白尼对科学和自然界的态度迥然不同。他与 14 世纪传统的分野,并不在于他为支持地球每日绕自轴转动而提出的论证;确实,这些论证中的许多成分在经院讨论中已司空见惯。实际上,哥白尼与传统的分野在于他坚信地球确有一个真实的物理运动和从这个深邃的信念而来的方法论意义上的理论解释。对哥白尼来讲,这两个方面是紧密相关的。他深信,地

球日转动和年运动的假设不仅解释了已知的天体现象，而且显示了一个更简单因而更和谐的宇宙秩序。在此基础上，他大胆声称，地球真的描绘了一个绕太阳的年轨道，真的绕自轴日转动一周；太阳的表观日运动和年运动是真实的地球运动的纯粹表象。

断言地球运动——每日的和每年的——的实在性，把哥白尼与他的中世纪先驱们明确地区别开来。中世纪先驱们连一个日运动都不肯指定给地球。而当认识到假设是哥白尼关于地球的基本命题所用的术语之一时，他与传统的决裂更为鲜明。对哥白尼来讲，假设既不是解释现象的一个便利手段，也不是一系列选择中更可能的一种，它是物理宇宙的基本真理；只有假设为真，现象才能真实地被解释。哥白尼相信，地球作日运动和年运动这个假设为真是不容置疑的，这种双重运动产生了宇宙中的一个对称，它明显地优于旧的概念图式。由此假设，行星的逆行和自行变得明白易懂。地球运动的这些推论，对于哥白尼确信地球的运动是真实的，确信他的假设是宇宙实在的一个真实反映，都显得极为关键。

一条巨大的鸿沟将哥白尼的态度与他的中世纪先驱的态度分隔开来。对于哥白尼，“挽救现象”不是为方便起见，而是为了真理；对于布里丹和奥里斯姆，则不是为了真理，而是为了便利。他们相信两个假设中的任意一个都能同样好地解释天文学的现象，确认地球不动不是基于天文学的理由。对中世纪思辨的宇宙学家，天文学假设根本不必反映宇宙学真理。确实，无论多少不同的假设在理论上都能解释物理现象。他们甚至认为，一个假的假设可能比某些真的可能性更大。然而，哥白尼给天文学和科学带来了全然不同的面目和情势。对他来讲，说两个假设能同样好地解释某种天文现象，就等于承认自己无知和糊涂。在他看来，地球状态的两个对立的假设不可能都真实地解释现象，为此必须寻找进一步的标准，找到这个标准就能正确区别真假。对于哥白尼，天文学中“挽救现象”是指提出真实的假设，科学及其假设必须处理实在而不是虚构

之物。在这个意义上——如果不在别的意义上的话——可以把哥白尼视为科学革命的第一个杰出人物。从本质上讲，正是他的态度，使得他与伽利略、开普勒、笛卡尔、牛顿同享盛名。

但绝对不能认为，中世纪对寻求物理实在的知识几乎没有什么兴趣。正相反，既然亚里士多德本人深信他已有了一个表征物理实在的体系，他的许多13世纪追随者，特别是托马斯·阿奎那，都是物理实在论者，这与哥白尼非常相似。既然探索物理实在——这是科学革命的一个重要方面——也被狭隘而又忠诚的亚里士多德主义者很好地阐述了，为什么中世纪的物理实在论者没能发起一场科学革命呢？几乎可以肯定地说，正是因为他们对亚里士多德体系的热衷与盲从排除了这一可能性。他们的物理实在论，基本上承自全身心地接受亚里士多德物理学和宇宙学。在禁单及由它带来的态度出现之前，亚里士多德主义的物理实在论者不大可能对亚里士多德作出任何重大的批评。作为虔诚忠实的信徒，他们几乎没有批评他的动因。颇具讽刺意义的是，正当物理实在论处在14世纪发展起来的基督教实在论的阴影之下时，对亚里士多德宇宙学和物理学的重大批判以及与其分歧的重大进展才被提出来并被积极地探索。14世纪所展示的活力正是来自相信物理实在的知识实际上不可能得到，来自相信这个或那个亚里士多德理论的替代解释不管其可信与否总是可能的。唯名论者常常是——假如是不确切的话——贴在这些14世纪经院学家身上的标签。他们提出了宇宙学和物理学(特别是运动学)方面绝大部分有趣的，并且具有潜在重要性的假设性结论。如果他们把这些结果应用于物理实在，可能就已经摧毁了亚里士多德体系。但他们没有这样做。他们把这些刺激性的观点和概念仅当成替代品或作为假设性问题的想象答案。需要的但尚未提出的是：向传统物理学和宇宙学提出挑战的新思想——其中一些已经提出来了——与相信——哪怕是天真地相信——物理实在的知识是完全能够掌握的信念紧密结合起来。

无论他们对认识物理实在持有普遍怀疑态度的理由是什么——也许是一种真正的哲学信仰，也许是知识分子迫于1277年禁单而作出的一个假姿态，也许两者都有——直到哥白尼，新的反亚里士多德的宇宙学才被提出来，而且是被一个相信已获得了物理真理的人提出来的。哥白尼如此深信这一点，以致他甚至把物理学归在天文学之下，因而颠倒了古代和中世纪的传统。从前，确定支配宇宙的原因和基本原理是物理学的任务。按照这个观点，物理学单独就能解释哪一个地上和天上的物体最适合运动，哪一个最适合静止不动。相反，天文学则与这类事无关。作图和预测天体的位置是天文学的唯一任务，并且天文学家可以自由地应用任何便利的假设和工具。哥白尼坚持在天文学和宇宙学的直接基础上相信他的革命性假设是真的，这就使这一切都颠倒过来了。地球长久占据的尊贵地位，现在必须被彻底推翻。哥白尼不得不发展一个至少能把地球的运动考虑进去的物理学。他的物理学由分散在他的《天体运行论》第一册中的一系列注释组成，不消说，他是从亚里士多德和经院学者的原理中提取出来的。然而，他的物理学的不足，比起使物理学满足他的革命性天文学和宇宙学的需要这一决定来说，远不重要。物理学必须让自己适应天文学的要求和判决。这就导致与近乎圣化了的传统发生彻底决裂。假如哥白尼仍拘泥于经院传统，把他的假设仅仅作为方便的手段和计算的辅助工具，而真假不在讨论之列的话，作为地球真实运动的推论而产生的、动力学和天体力学中的重大新问题可能还未出现，物理学理论大概仍局限于一个不动的地球，再加上一个由冲力理论、自然位置、强制运动及相关的中世纪观点所作的动力学解释。

然而，无需否认，14世纪就假设在科学结构中的作用，发展了一个高度精致的哲学思辨。无论是出于被迫还是主动的选择，很少有经院作家抱着能够获得关于物理实在的无可置疑的真理这个幻想。或许因为这个缘故，他们造就了假设性科学的活跃机体，并且

在某些情况下还超前提出了许多重要的、注定在新科学中发挥重大作用的理论和概念。但是强调不确定性、或然性、可能性——而不是确定性、准确性以及获得基本物理真理(而不是另外的什么东西)的信心,这样的传统不可能产生科学革命。深信人类有获得物理实在的真理的能力是不可缺少的。这个信念始终闪耀在哥白尼心中。当安德鲁斯·奥西安德(Andreas Osiander),一个路德派神学家,试图说明哥白尼把他的日心体系仅作为一个能挽救现象的天文学工具,而他的假设可能是错误的时候,哥白尼断然拒绝了。奥西安德的态度,放在14世纪就不足为奇。对于唯名论者——他们创造了中世纪自然哲学中如此多的智力上富于刺激性的成果——来讲,哥白尼体系只是凌驾于经验之上的一个推论。它的公认的较大的简单性和更强的解释能力并没有保证把实在授予体系这个重大步骤的合法性。上帝可能已把这个偶然的世界造得很复杂而不是很简单,"他"的绝对的、不可预测的能力,使得人类的心灵不可能获得除了直接感知之外的任何事物的确定知识。哥白尼忽视了这个本质上悲观的哲学,他让自己的心灵重新思考宇宙的结构,从而设计了一个简单的宇宙模型。对他来讲,这个非常的简单性正是物理实在的保障。这是谬误、奇想和科学革命的混杂。

文献评介

下列文献着重于本书所讨论的主题,但也包括了中世纪科学的其他方面。拜占廷和阿拉伯科学一般被省略了。考虑到原始文献的现代语译本更为有用,仅在少数情况下才引用拉丁文版本。

首先给出论述中世纪各阶段和各门科学的综合性著作。有关中世纪科学史上所有重要人物以及大量次要人物的生平和著作的资料,可在 *Dictionary of Scientific Biography* (New York: Scribner's Sons 1970—)内找到(13 卷中头两卷已经出版[①]),每一个条目都附有主要文献。George Sarton 的 *Introduction to the History of Science* (3 Vols., in 5 parts; Baltimore, 1927—1948)虽有点过时,仍不可或缺。这部重要著作涵盖了 1400 年之前的古代和中世纪科学,包括大量传记性和文献性资料。*New Catholic Encyclopedia* (15 Vols; New York, 1967)含有中世纪科学和哲学的辞条及传略(第一版书名为 *Catholic Encyclopedia*),至今仍然有用。*International Medieval Bibliography* (Department of History, University of Minnesota 出版)覆盖科学和哲学各个领域,文献标题系统地引自上百本杂志,1967 年开始出版。原是每月三号用五英寸卡片发行,现改为以活页书或杂志形式按季度发行。

① 现已出齐,一共 14 卷——译者注。

亚里士多德

亚里士多德著作的两个优秀标准英译本是 J. A. Smith and W. D. Ross (eds.), *The Works of Aristotle Translated into English* (12 Vols; Oxford, 1908—1952)和 *the Loeb Classical Library* (London and Cambridge, Mass.),都是直接译自希腊文。Richard McKeon (ed.), *The Basic Works of Aristotle* (New York, 1941)是亚里士多德著作的一个简便单卷本,包括了 *Physica*(物理学), *De caelo*(论天), *De generatione et corruptione*(论生灭)和 *Parva Naturalia*(短篇物理论著),但只简略引用了生物学著作。对亚里士多德物理学,特别是生物学的一个清晰而富于启发性的介绍是 G. E. R. Lloyd, *Aristotle: The Growth and Structure of His Thought* (Cambridge, England, 1968)。D. J. Allan, *The Philosophy of Aristotle* (London, 1952)很好地表述了亚里士多德的物理学和宇宙学,但对亚氏生物学的解说差强人意。也可参阅 W. D. Ross, *Aristotle*, 5th. ed. (London, 1949),这是一部更困难的介绍性著作。

晚古和早期中世纪的科学

约 1000 年之前的晚古和早期中世纪的科学,还没有一本综合性历史著作。Marshall Clagett, *Greek Science in Antiquity* (New York, 1955), Part Ⅱ对希腊科学的命运及约公元 900 年之前精神力量的作用作了一个很好的简单说明。M. L. W. Laistner, *Thought and Letters in Western Europe A. D. 500 to 900* (rev. ed., London, 1957)描述了这段时间的教育水平、方法及该时期的文献。H. I. Marrou, *A History of Education in Antiquity* (New York, 1956), 9 至 11 章总结了早期基督教的教育。H. M. Klinkenberg, Der Verfall des Quadriviums im frühen Mittelalter (in Josef Koch ed.) 一文属于 *Artes Liberales; von der antiken Bildung zur Wissenschaft des Mittelalters* (Leiden and Cologne, 1959)书中的一部分,

pp.1—32 论述了自 Boethius(波伊提乌)至 Cassiodorus(卡西奥多鲁斯)数学科学中概念的演变。

Samuel Sambursky, *The Physical World of Late Antiquity* (New York, 1962)描述了希腊斯多噶派、亚里士多德派及新柏拉图主义者关于空间、时间、物质、月下界力学、物理作用方式、天体物理及整个宇宙的理论和解释。基督教神父及其他教会人士对各种自然现象和科学问题的见解,包含在他们对 *Genesis*(创世纪)的注释中。对这些注释的讨论,参阅 Pierre Duhem, *Le Système du monde* (10 Vols., Paris, 1913—1959), Vol.2, pp.393—501; F.E. Robbins, *The Hexameral Literature; A Study of the Greek and Latin Commentaries on Genesis* (Chicago, 1912)以及 Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science* (8 Vols.; New York, 1923—1958) Vol. Ⅰ.

William Stahl, *Roman Science* (Madison, Wis., 1962)精湛地描述了12世纪翻译活动之前希腊和拉丁百科全书派的工具书传统。下列百科全书式工具书都有现代译本:William H. Stahl (tr.), *Macrobius, Commentary on the Dream of Scipio* (New York, 1952); Ernest Brehaut (tr.), *An Encyclopedist of the Dark Ages* (New York, 1912),包括 Isidore of Seville 的 *Etymologie*(词源学)20卷的摘录及对七艺的讨论[摘自 Isidore 的 *Etymologiae* 的医学部分已经出版,见 William D. Sharpe, M.D.,"Isidore of Seville, The Medical Writings, An English Transaction with an Introduction and Commentary", in *Transaction of the American Philosophical Society*, New Series, Vol.54, part 2 (1964)]; L.W. Jones (tr.) *Cassiodorus Senator, An Introduction to Divine and Human Readings* (New York, 1946)。

10世纪至13世纪阿拉伯和希腊科学的翻译与传入

传入过程的早期阶段,见 J.W.Thompson,"The Introduction of Arabic Science into Lorraine in the Tenth Century", *Isis*, Vol.12 (1929),

pp. 184—193 以及 Mary C. Welborn, "Lotharingia as a Center of Arabic and Scientific Influence in the Eleventh Century." *Isis*, Vol. 16 (1931), pp. 188—199。关于 12 世纪，见 J. C. Russell, "Hereford and Arabic Science in England about 1175—1200", *Isis*, Vol. 18 (1932), pp. 14—25 和 Theodore Silverstein, "Daniel of Morley, English Cosmologist and Student of Arabic Science," *Mediaeval Studies*, Vol. 10 (1948), pp. 179—196。

关于这个阶段在西班牙的翻译家和译作，J. M. Millas-Vallicrosa 作了一个很好的概括，见"Translations of Oriental Scientific Works" in Guy S. Métraux andFrançoise Crouzet (eds.), *The Evolution of Science* (New York, 1963), pp. 128—167。Moritz Steinschneider, *Die europäischen Übersetzungen aus dem Arabischen bis Mitte des* 17, *Jahrhunderts* (Graz, 1956; reprint of earlier articles)，详尽说明了从阿拉伯文到拉丁文的翻译活动，每一子目都按字母顺序排列，易于检查。Charles H. Haskins, *Studies in the History of Medieval Science*, 2nd ed., (Cambridge, Mass., 1927)，几乎完全用来描述从阿拉伯文和希腊文到拉丁文的翻译和翻译家。一个浓缩的表述见 Haskins 的优秀著作：*The Renaissance of the Twelfth Century* (New York, 1957 [1927]), Chapter 9 ("The Translators from Greek and Arabic")。A. C. Crombie, *Medieval and Early Modern Science* (2 Vols.; New York, 1959), Vol. Ⅰ, pp. 33—64，给出了一个简要说明，该书 pp. 37—47 的表中列了作者、著作、拉丁译者、翻译底本所用的语言及拉丁译作的时间和地点。Sarton, *Introduction to the History of Science*, Vol Ⅱ, part 1, pp. 338—344 列出了 Gerard of Cremona 译自阿拉伯文的重要拉丁译作。Pierre Thillet, *Alexandre d' Aphrodise' De Fato ad imperatores' version de Guillaume de Moerbeke édition critique avec introduction et index* (Paris, 1963), pp. 29—35 列出了 William of Moerbeke 译自希腊文的重要译作。附有英文标题和注释的两位翻译家的译作目录，见

Edward Grant, *A Source Book in Medieval Science*(即将出版)①。

这个阶段的科学水平确实不高,尽管随着12世纪的到来有所改进且在12世纪继续上升。Paul Tannery,"La géometrie au xie siècle," *Mémoires scientifiques* Vol.5 (Paris,1922),pp. 79—102,讨论了与早期中世纪几何学相关的材料(本书中提到的Radolf of Liège与Ragimbold of Cologne的数学通信,Franco of Liège论述圆求方的问题,以及其他主题);Paul Tannery和Abbé Clerval在同一卷中其他地方也讨论了这些主题,见"Une Correspondance d' écolatres du onzième, siècle,"pp. 229—303。B.L.Ullman,"Geometry in the Medieval Quadrivium," *Studi di bibliografia e di storia in onore di Tammaro de Marinus*, Vol.4 (Verona,1964), pp. 263—285追踪了罗马*agrimensores*(《测地者》)文本的传播,这个文本提供了中世纪微不足道的几何学的绝大部分内容。天文学方面,Pierre Duhem追踪了Heraclidean(赫拉克利德)天文学体系在整个早期中世纪内的影响,见*Le Système du monde*, Vol.3, pp. 44—112;也见H.Lattin"Astonomy: Our View and Theirs," Symposium on the Tenth Century, *Medievalia et Humanistica*, *fasc*. Ⅸ(1955), pp. 13—17。

11、12世纪意大利Salerno(萨来诺)医学校的出现是医学史上的重大事件,并标志着医学从此步入稳步发展的道路。对萨来诺发展的一个优秀解说,见Paul O. Kristeller,"The School of Salerno," *Bulletin of the History of Medicine*, Vol. 17 (1945), pp. 138—194;重印于P.O.Kristeller, *Studies in Rennaissance Thought and Letters* (Rome,1956), pp. 495—551。George W. Corner除了有关萨来诺发展的文章外("The Rise of Medicine at Salerno in the Twelfth Century", *Annals of Medical History*, n. s., Vol. 13 [1931], pp. 1—16;"Salernitan Surgery in the Twelfth Century", *The British Journal of Surgery*, Vol. 25 [1937—1938], pp. 84—99),还译了四本萨来诺的解剖教材,见*Anatomical Texts of*

---

① 已出版。后文经常提到此书,不再一一注出。——译者注。

the Earlier Middle Ages (Washington, D. C., 1927)。关于欧洲北部的医学,参阅 Loren C. MacKinney, *Early Medieval Medicine with Special Reference to France and Chartres* (Baltimore, 1937); Wilfrid Bonser, *The Medical Background of Anglo-Saxon England* (London, 1963)和 C. H. Talbot, *Medicine in Medieval England* (London, 1967)。关于一位在德国的非凡的12世纪医生和神秘论者的讨论,见 Charles Singner, "The scientific views and visions of Saint Hildegarde of Bingen," Charles Singer (ed.), *Studies in the History and Method of Science* (2 Vols.; Oxford, 1917—1921; 1955 重印), Ⅰ, pp. 1—55, 及 Gertrude M. Engbring, "Saint Hildegard, Twelfth Century Physician," *Bull. Hist. of Medicine*, Vol. 8 (1940), pp. 770—784。有关 Hippocratic(希波克拉底)医学传统的保护方面,见 Loren C. MacKinney, "Medical Ethics and Etiquette in the Early Middle Ages: The Persistence of Hippocratic Ideals," *Bull. Hist. of Medicine*, Vol. 26 (1952), pp. 1—31。

10世纪, Gerbert of Aurillac 改进了科学的教学。O. G. Darlington 描述了 Gerbert 的教学技巧和方法,见"Gerbert the Teacher," *American Historical Review*, Vol. 52(1947), pp. 456—476。通过他的学生们和后辈们的努力, Chartres(沙特尔)学校成为著名的学术中心,并在12世纪上半叶达到鼎盛。关于该校的发展和活动,见 J. A. Clerval, *Les écoles de Chartres au moyen âge (du Ve au XVIe siècle)* (Paris, 1895; reprinted). 在该校学习或教学的许多人,都为科学兴趣的增长作出了贡献。譬如, Adelard of Bath 不仅将欧几里德的 *Element*(原理)和 al-Khwarizmi(阿尔·花拉子密)的天文表从阿拉伯文译成了拉丁文,还写了 *Questiones Naturales*(《自然问题》);这本书展示了新的智力信心以及对陈旧的拉丁学术的蔑视,其译本见 Hermann Gollancz, *Dondi Venechdi (Uncle and Nephew), the Work of Berachya Hanakdan, now edited from the MSS. at Munich and Oxford, and English Translation, Introduction, etc. to which is added the First English Translation from the Latin of Adelard of Bath's Questiones*

Naturales（London, 1920）。在沙特尔学校，宇宙的创造和结构得到深入细致的讨论，见：T. Gregory, "L'idea della natura nella scuola di Chartres," *Giornale critico della filosofia italiana*（1952）, pp. 433—442; M. D. Chenu, O. P., "Nature and Man at the School of Chartres in the Twelfth Century," in G. Métraux and F. Crouzet（eds.）, *The Evolution of Science*（New York, 1963）, pp. 220—235; J. M. Parent, *La Doctrine de la creation dans l'école de Chartres*（Paris and Ottawa, 1938）; Etienne Gilson, "Platonism in the Twelfth Century," *History of Christian Philosophy in the Middle Ages*（London, 1955）, pp. 139—153 和 "La Cosmogonie de Bernardus Silvestris," *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du moyen à ge*, Vol. 3（1928）, pp. 5—24; 及 Theodore Silverstein, "The Fabulous Cosmogony of Bernardus Silvestris," *Modern Philology*, Vol. 46（1948—1949）, pp. 92—116。Lynn Thorndike 阐述了 Adelard of Bath, William of Conches 和 Bernard Silvester 思想中更隐秘的侧面，见 Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, Vol. 2, Chapters 36, 37 and 39.

12 世纪的变化以及智力骚动，常被称为"复兴"。有关这方面的描述，参阅 G. Paré, A. Brunet, and P. Tremblay, *La Renaissance du* Ⅻ^{e} *siècle: les écoles et l'enseignement*（Paris and Ottawa, 1933）和 Charles H. Haskins, *The Renaissance of the 12th Century*（1957）. Haskins 的书还包括论述 12 世纪科学和哲学基于新翻译而复兴的章节。对于把 12 世纪称作复兴，Eva Matthews Sanford 作了一个比较保守的判断，见 "The Twelfth Century-Renaissance or Proto-Renaissance," *Speculum*, Vol. 26（1951）, pp. 635—642。Charles R. Young（ed.）, *The Twelfth Century Renaissance*（New York, 1969）选编了有关 12 世纪复兴的实在性及其相对于意大利文艺复兴的地位的论辩。

大学

大量现代文献论述了中世纪大学生活的各个方面。巴黎、牛津和波洛尼亚(Bologna)大学是所有欧洲大学的原型,并且是科学思想的重要中心,因而可把注意力集中于这三所大学。论述中世纪大学的最基本的著作是 Hastings Rashdall, *The Universities of Europe in the Middle Ages* (3 Vols.; new edition by F.M. Powicke and A.B. Emden, Oxford, 1936),该书包括了详细的参考文献(可以利用这些文献来了解大学历史的其他重要方面)。在各种简要著作中,最有趣味的是 Charles H. Haskins, *The Rise of the Universities* (N.Y., 1923; 1957 年重印)。Lowrie J. Daly, *The Medieval University* 1200—1400 (New York, 1961)也很有可读性。Gordon Leff, *Paris and Oxford Universities in the Thirteenth and Fourteenth Centuries: An Institutional and Intellectual History* (New York, 1968)是一本富有启发性的近期著作,该书不仅包括了组织机构的发展,还讨论了学术争端(1277 年禁单和 14 世纪怀疑思潮占有相当的篇幅)。专门性的参考文章有 Guy Beaujouan, "Motives and Opportunities for Science in the Medieval Universities," A. C. Crombie (ed.), *Scientific Change* (New York, 1963) pp.219—236 及 Vern L. Bullough, *The Development of Medicine as a Profession: The Contribution of the Mediaeval University to Modern Medicine* (New York, 1966),包括一个关于中世纪医学教育的重要参考文献。Lynn Thorndike, *University Records and Life in the Middle Ages* (New York, 1944)是一本优秀的原始资料集,译录了有关大学组织、状况、课程、学生生活、学术论争等一系列专题的史料。也可以看看 Charles H. Haskins 的 *Studies in Mediaeval Culture* (Oxford, 1929),其中在他们的信件中谈到了中世纪学生生活,还有学生手册。

关于牛津、巴黎和波洛尼亚大学,下列文献值得注意。

牛津: Charles E. Mallet *A History of the University of Oxford*, Vol. Ⅰ: *The*

Mediaeval University and the Colleges Founded in the Middle Ages (New York, 1924)；有关1500年之前所有在牛津学习或教学人员的传记资料，见A.B.Emden, *A Biographical Register of the University of Oxford to* A.D. 1500 (3 Vols.; Oxford, 1957)。也可参阅A.G.Little, *The Grey Friars at. Oxford*. (Oxford, 1892)和A.G.Little and F.Pelster, *Oxford Theology and Theologians*, 1282—1302 (Oxford, 1934)。关于当时所研究的科学著作，见James A. Weisheipl, "Curriculum of the Faculty of Arts at Oxford in the Early Fourteenth Century," *Mediaeval Studies*, Vol. 26 (1964), pp. 143—185。在14世纪物理科学上极为重要的梅顿学院，由G. C. Brodrick作了讨论，见*Memorials of Merton College* (Oxford, 1885)。

巴黎： Charles Thurot, *De l'organisation de l'enseignement dans l'Université de Paris au moyen âge* (Paris and Besançon, 1850); Palémon Glorieux, *Les origines du Collège du Sorbonne* (Notre Dame, Indiana, 1959)。P. Féret, *La Faculté de théologie de Paris* (7 Vols., Paris, 1900—1910)于科学和哲学有用；有关13世纪巴黎神学硕士的资料，见Palémon Glorieux, *Répertoire des maitres en théologie de Paris au XIIIe siècle* (2 Vols.; Paris, 1933)。关于巴黎的医学研究，见Pearl Kibre, "The Faculty of Medicine at Paris, Charlatanism and Unlicensed Medical Practices in the Later Middle Ages," *Bull. Hist. of Medicine*, Vol.27 (1953), pp.1—20; Vern L. Bullough, "The Medieval Medical University at Paris," *Bull. Hist. of Medicine*, Vol.31 (1957), pp.197—211和"The Development of the Medical Guids at Paris," *Medievalia et Humanistica*, Vol.12 (1958), pp.33—40。

波洛尼亚： 一般校史有A. Sorbelli, *Storia della universita di Bologna*, Vol. I: Il medio evo, saec. XI—XVI (Bologna, 1940)。G. Zaccagnini描述了智力和社会环境，见"La vite dei maestri e degli scolari nello studio di Bologna nei Secoli XIII e XIV", *Biblioteca dell' Archivum Romanicum*, Ser. I, V (Geneva, 1926)。关于医学，见Vern L. Bullough, "Mediaeval Bologna and Medical Education," *Bull. Hist. of Medicine*, Vol. 32 (1958),

pp.201—215。

既然 Montpellier(蒙彼利埃)大学是 14 世纪一个重要的医学中心,也见 Sonoma Cooper,"The Medical School of Montpellier in the Fourteenth Century," *Annals of Medical History*, n. s. Vol. 2(1930),pp.164—195; Vern L. Bullough,"The Development of the Medical University at Montpellier to the End of the Fourteenth Century," *Bull. Hist. of Medicine*, Vol, 30(1956), pp.508—523; Miachel R. McVaugh,"Quantified Medical Theory and Practice at Fourteenth-Century Montpellier," *Bull. Hist. of Medicine*,, Vol. 43 (1969), pp.397—413。

拉丁西方对亚里士多德著作的接受及这些著作对哲学、科学和神学的影响

亚里士多德对中世纪科学和哲学的巨大意义,激起了出版他的著作及其重要的希腊、阿拉伯注释家著作的中世纪译本(主要是拉丁文本)的浩大工程。译自希腊文和阿拉伯文的亚里士多德著作的拉丁译文收集在 *Corpus philosophorum medii, aevi, Aristoteles Latinus*,由 G. Lacombe, L. Minio-Paluello等编辑(Bruges and Paris, 1953—　)。已经出版的有亚里士多德的各种逻辑著作, *Posterior Analytics*, *Physics*, *De mundo*(托名亚里士多德), *Politics*, *Poetics*, *and On the Generation of Animals*(*De generatione animalium*)。两卷单行本,加上一个附录,一般性地介绍了这个出版计划,并列出了亚里士多德著作及其已知的中世纪拉丁文稿目录(*Aristoteles Latinus*, *Codices*,由 G. Lacombe, E. Franceschini, L. Minio-Paluello 等编辑, Vol. 1 [Rome, 1939]; Vol. 2 [Cambridge, Eng., 1955];和 *Supplementa Altera* [Bruges and Paris, 1961])。大量希腊注释家的著作的中世纪拉丁译本正在出版之中,主编 G. Verbeke,见 *Corpus Latinum Commentariorum in Aristotelem Graecorum* (Louvain and Paris, 1957—　),目前已出了 4 卷(Themistius 和 Philoponus 对 *De ani-*

ma 的注释，Ammonius 对 *De interpretatione* 的注释及 Alexander of Aphrodisias 对 *Meteorologica* 的注释)。Averroes 对亚里士多德著作的阿拉伯文注释的中世纪拉丁文和希伯来文译本，在美国中世纪学会的赞助下正在以丛书形式出版，见 *Corpus Philosophorum medii aevi*，*Corpus Commentariorum Averrois in Aristotelem*，编者为 H. A. Wolfson，D. Baneth 和 F. H. Fobes。尽管在中世纪柏拉图的影响远赶不上亚里士多德，柏拉图著作的中世纪拉丁译本也在编辑出版之中，主编 Raymond Klibansky，见 *Corpus Platonicum medii aevi*，*Plato Latinus* (London，1940—)。柏拉图的 *Meno*，*Phaedo* 以及 *Parmenides* 和 *Timaeus* 的大量拉丁文本(前者伴有 Proclus 的注释，后者有 Calcidius 的注释)已经出版了。主编 Klibansky 为这套丛书作了扼要介绍，见 *The Continuity of the Platonic Tradition* (*London*，1939)。

关于亚里士多德著作的中世纪译本的进一步讨论，参阅 Marie-Thérèse d'Alverny，"Les traductions d'Aristote et de ses commentateurs，" XIIe Congrès international d'Histoire des Sciences，Colloques textes des rapports，*Revue de Synthèse*，troisième série，nos. 49—52，Vol. 89 (1968)，pp. 125—144；Martin Grabmann，"Methoden und Hilfsmittel des Aristotelesstudiums im Mittelalter，" *Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften*，phil.-hist. Abteilung (Munich，1939)，Heft 5，这是介绍亚里士多德著作译本和注释的一篇重要论文；S. D. Wingate，*The Mediaeval Latin Versions of the Aristotelian Scientific Corpus*，*with Special Reference to the Biological Works* (London，1931，重印于 Dubuque，Iowa，日期不明.)；D. J. Allan，"Mediaeval Versions of Aristotle，*De caelo*，and of the Commentary of Simplicius，" *Mediaeval and Renaissance Studies*，Vol. 2 (1950)，pp. 82—120；L. Minio-Paluello，"Henri Aristippe，Guillaume de Moerbeke，et les traducteurs Latines médiévales des 'Meteorologiques' et du 'De generatione et corruptione' d'Aristote"，*Revue philosophique du Louvain*，troisième série，Vol. 45 (1947)，pp. 206—235。

早在12世纪、13世纪翻译亚里士多德的物理学和生物学著作之前，亚里士多德自然哲学的零星片段已经渗入到西欧。对这一现象的讨论，见 A. Birkenmajer, "Le Rôle joué par les médecins et les naturalistes dans la réception d'Aristote au XIIe et XIIIe siècles," *La Pologne au VIe congrès international des sciences historiques, Oslo*, 1928(Warsaw, 1930)。这些零星片段大多来自 Abu Ma'shar 的占星学著作中的流行拉丁译本。Richard Lemay 对此有所讨论，见 *Abu Ma'Shar and Latin Aristotelianism in the Twelfth Century*(Beirut, 1962)。

Pierre Duhem 详尽论述了亚里士多德科学论著的传入及其研究，见 *Le système du monde*, Vol. 5, 特别是8—13章, pp. 233—580；也见 F. van Steenberghen, *Aristotle in the West* (Louvain, 1955)和 D. A. Callus, "Introduction of Aristotelian Learning to Oxford", *Proceedings of the British Academy*, Vol. 29 (1943), pp. 229—281。

对亚里士多德哲学和科学的反响及其后果，在许多中世纪哲学史著作中都有很好的阐述。两部长篇讨论，见 Etienne Gilson, *History of Christian Philosophy in the Middle Ages*(London, 1955)，这是一本标准的中世纪哲学著作，包括了极好的文献引证；Frederick J. Copleston, *A History of Philosophy* (Vols. 2, 3; Vestminster, Md., 1953—1957)。David Knowles 在 *The Evolution of Medieval Thought*(Baltimore, 1962)中采用了 Gilson 的一些重要结论，并清晰地描述了中世纪哲学的主要潮流。Julius Weinberg, *A Short History of Medieval Philosophy*(Princeton, 1965)对中世纪哲学作了卓越、简洁且常是分析性的说明。与 Gilson 相反，Weinberg 认为14世纪唯名论者的哲学成就远远超越于13世纪的先驱。Paul Vignaux 是论述唯名论的权威，他有两本很有价值的薄书，*Philosophy in the Middle Ages: An Introduction*, (New York, 1959)和 *Le Nominalisme au XIVe siècle*(Montreal, 1948)。Ernest A. Moody 的一篇重要论文，"Empiricism and Metaphysics in Medieval Philosophy," *Philosophical Review*, Vol. 67(1958), pp. 145—163 强调了教会和神学家对哲学和

哲学家的疑虑和敌视——这敌视一直持续到新教改革运动之后——以及神学利用哲学来诋毁哲学。

Giles of Rome 在 1270 年—1274 年间编纂的 *Errores Philosophorum* 罗列了哲学家的谬误，1277 年禁单又将 219 个命题列为罪条，这些无疑表露了教会和神学家对阿拉伯和希腊的科学与哲学的影响怀有深切恐惧。Josef Koch 和 John O. Riedl 编辑并翻译了 Giles of Rome 的著作（Milwaukee，1944）。L. Fortin 和 Peter D. O'Neill 译出了 1277 年禁单，收在 Ralph Lerner 和 Muhsin Mahdi 所编的 *Medieval Political Philosophy: A Source Book*（Glencoe，New York，1963），pp. 337—354。对 1277 年禁单后果最透彻的讨论是 Pierre Duhem，*Le Système du monde*，Vol. 6，"Le Reflux del'Aristotelisme：Les Condemnations de 1277"；D. A. Callus，*The Condemnation of Saint Thomas at Oxford*（Oxford，1946）也论及 1277 年禁单。

晚期中世纪的科学

关于晚期中世纪的科学，一般性历史著作并不多。A. C. Crombie，*Medieval and Early Modern Science*（2 Vols.；New York，1959）要算例外。Guy Beaujouan 对中世纪拉丁科学作了一个简洁、可信、易读的概述，该文收在 René Taton（ed.）的 *History of Science：Ancient and Medieval Science from beginnings to* 1450，系 A. J. Pomerans 自法文译出，（New York，1963），Chapter 7，pp. 468—532。E. J. Dijksterhuis，*The Mechanization of the World Picture*（Oxford，1961）pp. 99—219 及 pp. 248—253 对中世纪智力思潮和科学（未包括生物学和医学）作了一个很好的总结性说明。James A. Weisheipl，*The Development of Physical Theory in the Middle Ages*（London，1959）能让人对中世纪科学有一个清晰的印象，尽管该书给予 Albertus Magnus 和 Aquinas 的篇幅过多。Lynn Thorndike 的百科全书式著作 *A History of Magic and Experimental Science*（8

Vols.; New York, 1923--1958)几乎限于巫术和伪科学，但它包含有大量有价值的传记和文献资料，前6卷的历史跨度自1世纪至16世纪，末两卷论及17世纪。也见Edward Grant翻译、选编的史料集*A Source Book in Medieval Science*(即将出版)，内容涉及物理学、数学、天文学、宇宙学、占星术、化学、炼金术、地质学、生物学、医学和1277年禁单。

在物理学和宇宙学思想方面，*Pierre Duhem*标志着我们现代了解中世纪成就的开端。在*Les Origines de la statique*(2 vol; Pairs, 1905—1906)中，Duhem展示了中世纪论述静力学的文献，而以前对此一无所知。中世纪运动学和动力学是其*Études sur Léonard de Vinci*(3 Vols.; Paris, 1906—1913)的主题，他在该书中描述了平均速度定理、冲力及其他概念。这些主题，还有其他的主题，在他的重要著作*Le Système du monde: histoire des doctrines cosmologiques de Plation à Copernic*(10 Vols.; Paris, 1913—1959)中得到了研究。在这部著作中，Duhem以相当大的篇幅讨论了多重世界可能存在的理论、地球的转动、真空中的运动以及其他论题。Duhem的论点和解释还需要重新评价。他对中世纪的偏爱，导致他以低估伽利略和17世纪科学革命为代价去夸大中世纪的成就。Duhem几乎没有查阅巴黎以外的拉丁文原稿，这样研究中世纪很危险。Alexander Koyrè在*Études Galiléennes*(3 fasc.; Paris, 1939)这本研究伽利略科学思想的开创性著作中，否定了Duhem的观点，他并不认为14世纪的科学成就影响了伽利略并对科学革命发挥了重大作用。战后岁月，研究者力图对中世纪科学作出更公正客观的判断。最有意义的回答来自Anneliese Maier的五大卷著作，*Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik*(Rome, 1949—1958); Vol. Ⅰ. *Die Vorläufer Galileis im* 14. Jahrhundert (1949); Vol. Ⅱ. *Zwei Grundprobleme der scholastischen Naturphilosophie* (2d. ed., 1951)，包括两个专题，形式的张弛和冲力理论; Vol. Ⅲ. *An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft* (2d ed., 1952)，包括物质的结构、下落原因、加

速、真空中自由落体以及对形式的张弛的进一步讨论; Vol. Ⅳ. *Metaphysische Hintergründe der spätscholastischen Naturphilosophie* (1955)和 Vol. Ⅴ. *Zwischen Philosophie und Mechanik* (1958)。Maier, *Ausgebendes Mittelalter* (2 Vols.; Rome, 1964—1967)是一本论述 14 世纪思想的简要论文集,其中只有一部分直接与科学相关。弄清这些争论,关键应出版适当编辑的中世纪科学文本,最好还应给以翻译以让尽可能多的读者可用。尽管自 19 世纪以来已零星出版过中世纪拉丁文本,还是 Marshall Clagett 在 1952 年开始组织并主编的 *Publications in Medieval Science* (由 University of Wisconsin Press 出版),这套极有价值的丛书中的文本和译文大大深化和拓展了我们关于中世纪的物理学、宇宙学、数学和医学的知识。下列主题有许多都出现在该丛书中。

科学的分类

在知识和哲学总领域内,各门学科的等级关系是中世纪所关注的一个主题。James A. Weisheipl, O. P., "Classification of the Sciences in Medieval Thought," *Mediaeval Studies*, Vol. 28(1966), pp. 54—90 就晚古至中世纪作了很好的综述。Marshall Clagett, "Some General Aspects of Physics in the Middle Ages," *Isis*, Vol. 39(1948), pp. 29—44 第一部分,对中世纪作了一个较简略的说明。也见 Joseph Marietan, *Problème de la classification des sciencesd' Aristote à St. Thomas* (Paris, 1901)。关于 12 世纪之后讨论该主题的两份原始资料见: Jerome Taylor (tr.), *The Didascalicon of Hugh of St. Victor: A Medieval Guide to the Arts* (New York, 1961), pp. 62—64 和 pp. 67—73(Hugh 反映了翻译阿拉伯和亚里士多德科学之前的拉丁传统)和 Edward Grant (*e. d.*), *A Source Book in Medieval Science* (即将出版)。后者收入了 Marshall Clagett 和 Eward Grant 选译的 Domingo Gundisalvo 的 *On the Division of Philosophy* (*De divisione philosophias*); *Domingo* 的分类格式取自阿拉伯著作。

物理学

一本基本的著作是 Marshall Clagette, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1959), 包括译文和对中世纪物理学的详细分析性评注。该书描述并讨论了中世纪在静力学、运动学和动力学方面的贡献,包括平均速度定理、冲力理论、自由落体、地球的可能转动和 Bradwardine(布雷德沃丁)的运动定律。中世纪静力学的重要文献多伴随 Jordanus de Nemore 的名字,这些文献的拉丁文本及现代译本已由 Ernest A. Moody 和 Marshall Clagett 出版,见 *The Medieval Science of Weights* (Madison Wis., Publications in Medieval Science, 1952)。Joseph E. Brown 进一步讨论了中世纪静力学传统,见 *The Scientia de ponderibus in the Latter Middle Ages*(博士论文, University of Wisconsin, 1967)。

Ernest A. Moody 就运动定律及其对伽利略的影响写了一系列精辟的论文。在其最重要的论文"Galileo and Avempace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment," *Journal of the History of Ideas*, Vol. 12 (1951), pp. 163—193 和 pp. 375—422 中, Moody 争辩说,伽利略早年(比萨阶段)的动力学,其源头可追溯到 Avempace(阿文帕塞)的速度定律。在"Galileo and His Precursors," Carlo L. Golino (ed.), *Galileo Reappraised* (*Berkeley*, 1966), *pp*. 22—43 这篇文章中, Moody 表明,伽利略在其随后的帕都瓦(Padua)阶段,采纳了 Buridan 的永久冲力观点和 Buridan 对自由落体的解释,以及梅顿学派对加速运动的分析。在"Ockham and Aegidius of Rome," *Franciscan Studies*, Vol. 9(1949), pp. 417—442 一文中, Moody 就 Ockham 接受 Avempace(和 Aquinas)的运动学并排斥其动力学寓意作了讨论。

关于真空中运动的可能性及其推论,见 Edward Grant, "Motion in the Void and the Principle of Inertia in the Middle Ages," *Isis*, Vol. 55

(1964), pp. 265—292, 和"Bradwardine and Galileo: Equality of Velocities in the Void," *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. 2(1965), pp. 344—364; 也见 A. Maier, "Die freie Fall im Vakuum," *An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft*, pp. 219—254。Charles B. Schmitt, "Experimental Evidence for and Against a Void: The Sixteenth Century Arguments," *Isis*, Vol. 58(1967), pp. 352—366, 描述了否定真空实际存在的四个中世纪论证。

Thomas Bradwardine 阐述其影响甚大的新运动定律的主要论著, 已由 H. Lamar Crosby, Jr. 编辑并译出, 见 *Thomas of Bradwardine His Tractatus de proportionibus Its Significance for the Development of Mathematical Physics* (Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1955)。关于 Oresme 推广 Bradwardine 定律以包容不合理的数学关系以及 Oresme 对这些数学结论的应用, 见 Edward Grant (ed. & tr.), *Nicole Oresme De proporionibus proportionum and Ad pauca respicientes* (Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1966)。也见 Ernest A. Moody, "Laws of Motion in Medieval Physics", *The Scientific Monthly*, Vol. 72(1951), pp. 18—23。对这些及其他主题, Marshall Clagett 作了明晰的阐述, 见"Some Novel Trends in the Science of the Fourteenth Century," Charles S. Singleton (ed.), *Art, Science, and History in the Renaissance* (Baltimore, 1968), pp. 275—303。关于一部中世纪论著的分析(在这部论著中, 物理学、数学和逻辑被用来解答诡辩式问题, 所考虑的物理问题是假设性的——按照想象), 见 Curtis Wilson, *William Heytesbury: Medieval Logic and the Rise of Mathematical Physics* (Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1956)。还有两本关于 Oresme 的书值得一提: Marshall Clagett, *Nicole Oresme and the Medieval Geometry of Qualities and Motions, A Treatise on the Uniformity and Difformity of Intensities known as Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum*, 伴有介绍、英文翻译和评注(Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1968), 是对形式的张弛的权威性处理; 和 Edward Grant,

Nicole Oresme and the Kinematics of Circular Motion, *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi*，也有介绍、英译和注释（Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1971）。伽利略的 *De motu*，本书经常提到，已经译出并收在 *Galileo Galilei 'On Motion' and 'On Mechanics'*，其中 *De motu*（约 1590 年）由 I. E. Drabkin 译出，*Le Meccaniche*（约 1600 年）由 Stillman Drake 译出，两者都有译者所作的导言和注解（Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1960）。

关于中世纪光学，还没有一本适用的历史著作。Vasco Ronchi 的 *Histoire de la lumière*（Paris, 1956）这本光学史对中世纪讨论得不当。覆盖中世纪光学整个领域的富有代表性的史料集已由 David C. Lindberg 准备好，收进了 Edward Grant（ed.），*A Source Book in Medieval Science*（即将出版）。在特殊专题上，并不乏优秀的学术成果。A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*, 1100—1700（Oxford, 1953）关注中世纪光学所显示的方法论（含有一组极好的参考文献）。中世纪最流行的一本光学论著的拉丁版本及其翻译、介绍和重要注释，见 David C. Lindberg（ed. & tr.），*John Pecham and the Science of Optics*："*Perspectiva Communis*"（Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1970）。Theodoric of Freiberg 对初级和次级彩虹提出了第一个正确的定性解释，关于他的光学论著中所显现的方法论的研究，见 William A. Wallace, O. P., *The Scientific Methodology of Theodoric of Freiberg*（*Fribourg, Switzerland*, 1959）。David C. Lindberg 在"Alhazen's Theory of Vision and its Reception in the West," *Isis*, Vol. 58(1968), pp. 321—341，一文中指出，Bacon、Pecham 和 Witelo 将 Alhazen 的实质性贡献忠实地传给了开普勒和 17 世纪。关于哲学和心理学对中世纪光学的影响，见 Graziella F. Vescovini, *Studi sulla prospettiva medievale*（Turin, 1965）。

Petrus Peregrinus（Pierre de Maricourt）的 *Letter on the Magnet* 是中世纪科学上最重要的经验性论著之一。该书写于 13 世纪，是关于磁性

的第一个系统描述，它至少有三种英译本，其中之一是 Brother Potamian（即 Joseph Charles Mertens），*The Letter of Petrus Peregrinus On the Magnet*，A.D.1269（New York，1904）伴有译者的介绍性注释。S.P. Thompson 讨论了这部论著，见“Petrus Peregrinus de Maricourt and his Epistola de Magnete”，*Proceedings of the British Academy*，Vol.2（1905—1906），pp.377—408。

天文学、占星术和宇宙学

还没有一本对拉丁西方中世纪天文学的权威性综述，目前可参阅 J.P.J. Delambre，*Histoire de l'astronomie au moyen âge*（Paris，1819）。Duhem 在 *Le Système du monde* 中的许多部分都讨论了天文学主题。E.J. Dijksterhuis 在 *Mechanization of the World Picture*，pp.209—219 中的讨论富有启发性，但范围狭窄。J.L.E. Dreyer 概述、评论了 Duhem 的 *Le Système du monde* 前五卷，见“Medieval Astronomy，”in Charles Singer（ed.），*Studies in the History and Method of Science*，Vol.2（Oxford，1921），pp.102—120。中世纪两本最流行的天文学著作是 John of Sacrobosco 的 *De spera*（《论球》）和误归在 Gerard of Cremona 名下的更专业性的 *Theorica Planetarum*（《行星理论》）。Lynn Thorndike 编辑并翻译了前一本，*The Sphere of Sacrobosco and Its Commentators*（Chicago，1949）；后一本由 Olaf Pedersen 译出，已收入我的 *Source Book in Medieval Seience*。一本用于计算行星位置（借助于一种特殊装置）的中级英文天文学教本（或许，部分乃 Chaucer 所写），已由 Derek J. Price 编辑并译出，见 *The Equatorie of the Planetis*（Cambridge，1955）。在第七章，Price 解释了托勒密体系的要点，托勒密体系乃中世纪专业性天文学的基石。Albertus Magnus 和 Thomas Aquinas 关于彗星的两篇论著已经译出，见 Lynn Thorndike，*Latin Treatises on Comets Between 1238 and 1368 A.D.*（Chicago，1950）。Pierre Duhem 追溯了天文学中“挽救现象”这个概

念，见 *To Save the Phenomena, An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo*，由 Edmund Doland 和 Chaninah Maschler 自法文译出，Stanley L. Jaki 写了一篇导论性文章（Chicago，1969）。

Theodore Otto Wedel, *The Mediaeval Attitude Toward Astrology, Particularly in England*（New Haven，1920），对中世纪占星术的轮廓性勾勒饶有趣味，却未能将其视为一门学科而予以广泛的讨论。就我所知，还没有译全一本综合性拉丁文占星论著。所幸，还能够找到一本精湛的专业性阿拉伯占星论著，见 *The Book of Instruction in the Elements of the Art of Astrology by al-Biruni*，R. Ramsy Wright 翻译（London，1934）。al-Biruni 所描述的原理或许与专业性拉丁占星学有点差别——若不是完全不同的话。Oresme 对占星预言的攻击，见 G. W. Coopland（ed. & tr.），*Nicole Oresme and the Astrologers: A study of His Le Livre de Divinacions*（Cambridge，Mass. 1952）。

数学

尽管有大量专门化文献，中世纪数学还未作充分的总体研究，对各个分支的研究也不够。至今最全面的处理仍然是 Moritz Contor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*（4 Vols.; Leipzig，1880—1908），Vol. 1（3rd ed.，1907）和 Vol. 2（2nd ed. 1899—1900）。一本很好的近期著作是 A. P. Juschkewitsch, *Geschichte der Mathematik im Mittelalter*（Leipzig，1964），这本书讨论了中世纪中国、印度、伊斯兰和欧洲的数学，还包括一个长长的参考文献——240 篇（部）以上。Edward Grant（ed.），*A Source Book of Medieval Book* 收入了算术、代数、数论、概率、无穷数列、比例、几何和三角学诸方面的选本。Marshall Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, Vol Ⅰ: *The Arabo-Latin Tradition*（Madison，Wis.，Publications in Medieval Science，1964）是对中世纪理论几何的最好的研究，尽管主要限于 Archimedes。关于欧几里德 *Element*（《原

理》)的命运,见 John E. Murdoch,"The Medieval Character of the Medieval Euclid: Salient Aspects of the Translations of the *Elements* by Adelard of Bath and Campanus of Novara," XIIe Congrès international d'Histoire des Sciences, *Revue de Synthèse*,(1968),Vol.89,pp.67—94。关于比例和比例论,见 John E. Murdoch,"The Medieval Language of Proportions: Elements of the Interaction with Greek Foundations and the Development of New Mathematical Techniques," A.C. Crombie (ed.), *Scientific Change* (New York, 1963), pp.237—271(也见 L. Minio-Paluello 和 H. Lamar Crosby, Jr. 的评论和 Murdoch 的答文)。14 世纪论述比例的两部重要论著——Bradwardine 的(由 H. Lamar Crosby, Jr. 编辑和翻译)和 Oresme 的(由 Edward Grant 编辑翻译),已在前面物理学一节运动定律部分引述过。Oresme 在 *De proportionibus proportionum* 得到了无理指数概念。关于他如何处理有理指数,见 Edward Grant (tr.),"Part I of Nicole Oresme's Algorismus proportionum," *Isis*, Vol.56(1965), pp.327—341。关于算法,见 Robert S. Steele (ed.), *The Earliest Arithmetics in English*, Early English Text Society, extra series, no.118(London, 1922)。一本法文算术的英文翻译见 E.G.R. Waters,"A Fifteenth Century French Algorism from Liège," *Isis*, Vol.12(1929), pp.194—236;也见 Dorothy V. Schrader,"The Arithmetic of the Medieval Universities," *Mathematics Teacher*, Vol.60(1967), pp.264—278。代数方面,阿拉伯作家的两本著作乃西方中世纪代数学的起点,两者都有英文译本:Louis Chester Karpinski and John Garrett Winter, *Contributions to the History of Science, Part I: Robert of Chester's Latin Translation of the Algebra of al-Khowarizmi*, University of Michigan Studies, Humanistic series, Vol.11(Ann Arbor, 1930)和 *The Algebra of Abu-Kamil*(希伯来文本),Martin Levey 翻译并注释(Madison, Wis., Publications in Medieval Science, 1966)。中世纪最好的数学家之一,Jordanus de Nemore 的一本代数著作 *De numeris datis*(《论给定的数》),已由 Maximilian Curtze 编辑出版,每一个命题都附有一个用现代符号所作的分析性概括,见

"Commentar zu dem 'Tractatus de Numeris Datis' des Jordanus Nemorarius", Historisch-literarische Abtheilung der *Zeitschrift für Mathematik und Physik* (Leipzig, 1891), Vol. 36, pp. 1—23, 41—63, 81—95 和 121—138。Leonardo Pisano 的 *Liber Quadratorum* (《平方数之书》)写于 1225 年,讨论数论和不定分析,已由 Paul Ver Ecke 译成法文,见 *Léonard de Pise, Livre des nombres carrés* (Bruges, 1952)。关于三角,见 John David Bond, "The Development of Trigonometric Method Down to the Close of the Fifteenth Century," *Isis*, Vol. 4(1921—1922), pp. 295—323。Bond 还翻译了一部 14 世纪三角论著,"Richard Wallingford's Quadripartitum (English Translation)", *Isis*, Vol. 5 (1923), pp. 339—358, Wallingford 乃是 14 世纪上半叶牛津杰出数学家和物理学家群体中的一员。

化学和炼金术

由于炼金术著作晦涩难解,对其文本的编辑和翻译相对就很少。Pierre E. M. Berthelot 在他的一系列专著中已作了先驱性工作,这包括 *Introduction à l'étude de la chimie des anciens et du moyen âge* (Paris, 1889) 和 *Histoire des sciences: la chimie au moyen âge* (3 Vols.; Paris, 1893)。最富有教益的单卷本著作是 E. J. Holmyard 的 *Alchemy* (Harmondsworth, Middlesex and Baltimore, 1957),该书包括一个术语表;也可参阅 F. Sherwood Taylor 的 *The Alchemists, Founders of Modern Chemistry* (New York, 1949)。器具方面,见 E. J. Holimyard 等编的 *A History of Technology*, Vol. 2 (Oxford, 1956), pp. 731—752。关于中世纪对化学操作、程序及原料的直率描述,见 *Libellus de alchimia ascribed to Albertus Magnus*,译自 Borgnet 拉丁本, Sister Virginia Heines, S. C. N. 的导言和注释, Pearl Kibre 作序 (Berkeley and Los Angeles, 1958)。Petrus Bonus (约 1330)为炼金术及其把贱金属变成黄金的能力所作的经院辩护,已由 A. E. Waite 译出,见 *The New Pearl of Great Price. A Treatise Concerning*

the Treasure and Most Precious Stone of the Philosophers. On the Method and Precedure of this Divine Art, …(London, 1894)。也见 Vincent R. Larkin, "Saint Thomas Aquinas: 'On the Combining of the Elements'," *Isis*, Vol. 51 (1960), pp. 68—72。关于炼金术神秘的描述，见 *Aurora Consurgens, A Document Attributed to Thomas Aquinas on the Problem of Opposites in Alchemy*, 由 Marie-Louise von Franz 编辑、评注；这本书与 C. G. Jung 的 *Mysterium Coniunctionis* 配套发行，后者由 R. F. C. Hull 和 A. S. B. Glover 翻译，(New York, 1966), Bollingen Series, Vol. 77。面对这些神秘的描述，我们难以分辨它们究竟是用炼金术语言阐述的宗教文献，还是用宗教神秘语言包裹的炼金术著作。

地质学和地理学

Duhem 的 *Les Système du monde* 第九卷主要论述地质学。一本优秀的著作是 *Albertus Magnus Book of Minerals*, Dorothy Wyckoff 译(Oxford, 1967)。有关 Albertus Magnus 为确定火山是否是由地下蒸气压力所致而作的一个实验，见 Rolf A. Koch, "Die aktualistische Bedeutung der Vulkanexperimente des Albertus Magnus," *Abhandlungen des staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden*, Vol. 11 (1966), pp. 307—314。Avicenna 在某一本著作中讨论了山脉成因，该著作能找到拉丁译文，见 *Avicennae 'De congelatione et conglutinatione lapidum' being sections of the Kitab al-Shifa*。"拉丁文本和阿拉伯文本，E. J. Holmyard 和 D. C. Mandeville 编辑，并加上了阿拉伯文本的英译以及关键性注释(Paris, 1927)。地理学方面，两本有用且有趣的著作是：John K. Wright, *The Geographical Lore of the Time of the Crusades* (New York, 1925)和 George H. T. Kimble, *Geography in the Middle Ages* (London, 1938)。传统的中世纪地理学知识包含在 Pierre d'Ailly *Ymago Mundi*(《世界的图景》)之内，该书的拉丁文本及其法文翻译见 Edmond Buron, *Ymago Mundi de Pierre*

d'Ailly (3 Vols.; Paris, 1930), Vol. Ⅰ。

技术

在这个实践家和发明家论著稀少的领域内，Lynn White, Jr 的 *Medieval Techology and Change* (Oxford, 1962)精湛地描述了马镫、犁、马力和机械力对社会的影响。该作者两篇富有启发性的文章是"What Accelerated Technological Progress in the Western Middle Ages?" in A. C. Crombie (ed.) *Scientific Change* (New York, 1963), pp. 272—291(也见 pp. 311—314 和 pp. 327—331 的讨论)和"Medieval Uses of Air", *Scientific American*, Vol. 223, No. 2 (August, 1970), pp. 92—100。White 在后一篇文章中解释说，19 世纪中叶之前，科学和技术基本上是两个分离的实体。他指出，中世纪工匠除发明了鼓风炉、风车、抽水泵外，还建造了载人滑翔器、汽轮机，并设想过降落伞。Bertrand Gille 对中世纪技术给出了一个极有价值的简要说明，见"Technological Developments in Europe: 1100—1400," Guy S. Métraux and François Crouzet, (eds.), *The Evolution of Science* (New York, 1963), pp. 168—219。也见 R. J. Forbes, "Metallurgy and Technology in the Middle Ages", *Centaurus*, Vol. 3 (1953), pp. 49—57; 重印于 Robert Palter (ed.), *Toward Modern Science* (New York, 1969), pp. 257—267。论述中世纪采矿、冶金、制造、运输、实用机械和化学的专门性论文，可在 Charles Singer, E. J. Holmyard 等编的 *A History of Technology* (5 Vols.; New York and London, 1954—1958)第二卷内找到。关于 14 世纪设计制造的一个希奇复杂的天文时钟装置的描述，见 Silvio A. Bedini and Francis R. Maddison, "Mechanical Universe, the Astrarium of Giovanni de'Dondi", *Transactions of the American Philosophical Society*, new series, Vol. 56, part 5 (Philadelphia, 1966)。

生物学

标准的生物学史，如 Erik Nordenskiöld, *The History of Biology* (New York, 1929)和 Charles Singer, *A History of Biology to About the Year* 1900 (再版，New York, 1959)，对于了解中世纪都无甚用处。或许，论述中世纪生物学最好的著作是 H. Balss 的 *Albertus Magnus als Biologe* (Stuttgart, 1947)。关于 Albertus 的鸟类学知识，见 S. Killermann, *Die Vogelkunde des Albertus Magnus* 1270—80 (Regensburg, 1910)。Joseph Needham 扼要综述了中世纪胚胎学，包括对 Albertus Magnus 的一个评价，见 *A History of Embryology* (第二版；New York, 1959), pp. 86—96。Albertus Magnus 的 *Questions on Aristotle's De animalibus* 的译文收在 Edward Grant(编的) *A Source Book in Medieval Science* 之内。该书中还有我译的一些 Albertus 对动物的描述，系译自 Albertus 的广博动物学论著 *Twenty-Six Books on Animals* (De animalibus libri XXVI)。不妨拿这些描述与 T. H. White 所译的一本驯兽书中明显低劣的描述比较一下；见 *The Books of Beats being a translation from a Latin Bèstiary of the Twelfth Century* (London, 1954)。这本驯兽书是著名的 *Physiologus* 的扩充，原是晚古用希腊文写成了驯兽著作，道德说教味很强。在随后一千年，它被译成多种语言，包括拉丁文，并因此成为一本真正的世界性著作。中世纪最卓越的动物学论著是 *De arte venandi cum avibus* (*On the Art of Hunting with Birds* (猎鸟术))，作者乃神圣罗马皇帝 Frederick Ⅱ，约写于 1245 年。这本著作常受到现代动物学家的称羡，其对猎鹰习性和驯养的详细讨论直接基于观察。这部分已经译出，见 Casey A. Wood and F. Marjorie Fyfe, *The Art of Falconry being the "De arte venandi cum avibus' of Frederick* Ⅱ *of Hohenstaufen* (Stanford University Press, 1943)。

植物学方面，基本著作是 Hermann Fischer, *Mittelaterliche*

Pflanzenkunde (Munich, 1929)。相关的著作还有 Agnes Arber, *Herbals: Their Origin and Evolution* 1470—1670（新版，Cambridge，1938），和 Eleanor S. Rohde，*The Old English Herbals*（New York，1922）。如同动物学领域一样，Albertus Magnus 在植物学领域也是核心人物，他的 *De vegetabilibus*（《论植物》）包括理论和描述两个方面，理论性部分所占比重比描述部分大。我已选择了理论性和哲学性部分中一些有代表性的文章，收在 *A Source Book in Medieval Science*。对橡树的描述证明了 Albertus 的观察能力，其译文见 Charles Singer，"Greek Biology and its relation to the Rise of Modern Biology，" *Studies in the History and Method of Science*，Charles Singer (ed.)，Vol. 2，pp. 74—145。T. A. Sprague 在其两篇文章中列出了 Albertus Magnus 对植物学术语的定义，见 *Bulletin of Miscellaneous Information*，Royal Botanic Gardens，Kew（1933）："Plant Morphology in Albertus Magnus"，pp. 431—432 和"Botanical Terms in Albertus Magnus，" pp. 440—459。

医学

论述中世纪医学的文献浩如烟海，大多数普通医学史都有论述中世纪的章节，但分量不够。George Sarton 在 *Horus: A Guide to the History of Science*（Waltham，Mass.，1952）pp. 184—190 中列出了医学及其各个分支的标准历史著作。专门的中世纪医学史有：E. Riesman，*The Story of Medicine in the Middle Ages*（New York，1935）；J. J. Wash，*Medieval Medicine*（London，1920）和 C. H. Talbot，*Medicine in Medieval England*（London，1967）。后一本书尽管标题限定于英国，实际上包含了对整个西欧医学的大量权威性论述，由此所获的裨益还要超过前两本书。Loren C. MacKinnery，*Medical Illustrations in Medieval Manuscripts*（London，1965）是一本迷人的图解性著作，共包括 18 页彩图和 86 条有趣的注释。Michael R. McVaugh 收集了中世纪医学各领域有代表性

的史料,收在 Edward Grant (ed.) *A Source Book in Medieval Science*。

Avicenna 的 *Canon of Medicine* 是中世纪最详尽的通用医学教本,至今还没有全译本。第一册(共有五册)已有两个译本,其一是 O. Cameron Gruner, *A Treatise on the Canon of Medicine of Avicenna* (London, 1930),译文有些松散,不太准确;其二是 Mazhar H. Shah 的近期译文, *The General Principles of Avicenna's Canon of Medicine* (Karachi, 1966),该译本包括了被 Gruner 忽略的解剖学部分。

关于解剖学,见 Charles Singer, *A Short History of Anatomy from the Greeks to Harvey* (New York, 1957), pp. 62—89。Mondino de'Luzzi 的解剖学著作是中世纪最重要的教本,其译文见 Charles Singer (tr.), *The Fasciculo di Medicina Venice*, 1493, *with an Introduction by Charles Singer* (Florence, 1925), Vol. Ⅰ。下列两部论著对于了解中世纪解剖学很有价值, *Iacopo Berengario Carpi*, *A Short Introduction to Anatomy* (*Isagogae Breves*), L. R. Lind 翻译,并加了导言和注释(Chicago, 1959); Charles Singer, "A Study in Early Renaissance Anatomy, with a new text: The *Anathomia* of Hieronymo Manfredi, transcribed and translated by A. Mildred Westland," in *Studies in the History and Method of Science*, Charles Singer (ed.), Vol. Ⅰ, pp. 79—164。也见前面引述过的 G. W. Corner 所译的解剖学文本。

中世纪的外科学史,有 Pierre Alphonse Huard and Mirko Drazen Grmek, *Mille ans de chirurgie en occident*, Ⅴ^{e}—ⅩⅤ^{e} *siècles* (Paris, 1966)。该书包括 162 页插图和一个详尽的参考文献。至少已经译了三部重要的外科学论著: *The Surgery of Theodorie ca*. A. D. 1267,由 Eldridge Campbell 和 James Colton 自拉丁文译出(2 Vols.; New York, 1955); *Lanfranc's Science of Cirurgie*, Early English Text Society, 1894, Original Series 102 和 *Maitre Henri de Mondeville*, *Chirurgie*, *traduction francaise avec des notes*, *une introduction et une biographie*, E. Nicaise (Paris, 1893)所译。Guy

de Chauliac 的中世纪外科著作的一个选本描述了当时对待外科手术的态度及作一个外科医生的条件，这已由 James Bruce Ross 译出，收在 James Bruce Ross 和 Mary Martin McLaughlin 编辑的 *The Portable Medieval Reader*（New York，1949），pp.640—649。关于解剖，见 Mary Niven Alston，"The Attitude of the Church towards Dissection before 1500"，*Bulletin of the History of Medicine*，Vol.8（1940），pp.221—238。关于医院的讨论，见 Rotha M. Clay，*The Medieval Hospitals of England*（London，1909）和 C. A. Mercier，*Leper Houses and Mediaeval Hospitals*（London，1915）。关于黑死病，见 Philip Ziegler，*The Black Death*（New York，1969），着重于英国的长篇描述，包括一个详尽参考文献。Johannes Nohl，*The Black Death：A Chronicle of the Plague*（London，1926），虽有点旧，仍十分有趣，伴有说明性插图和参考文献。对写于 1348—1350 年之间的 16 篇论述瘟疫短文的分析，见 Anna Montgometry Campbell，*The Black Death and Men of Learning*（New York，1931）。Jack Hirshleifer 在其 *Disaster and Recovery：The Black Death in Western Europe*（Santa Monica，Calif.，1966）一书中，就黑死病的影响以及现代在面临相似灾害（如热核战争）时能从中学到些什么作了推测性的分析。

中世纪物理科学与科学革命的关系

Alexander Koyrè 在一系列论著中坚持认为，中世纪物理学与 17 世纪科学和伽利略的成就之间存在实质性的差距，详见 *Études Galiléennes*（3 fascicules；Paris，1939）；"Galileo and Plato，" *Journal of the History of Ideas*，Vol.4（1943），pp.400—428，（重印于 Philip P. Wiener and Aaron Noland，*Roots of Scientific Thought* [New York，1957]，pp.147—175）；"Les origines de la science moderne，" *Diogène*，Vol.26(1956)，pp.14—42。Ernan McMullin 也赞同两者不连续的看法，见"Medieval and Modern Science：Continuity or Discontinuity？" *International Philosophical*

Quarterly, Vol. 5 (1965), pp. 103—129 和 "Empiricism and the Scientific Revolution," in Charles S. Singleton (ed.), *Art, Science, and History in the Renaissance* (Baltimore, 1968), pp. 331—369。Edward Rosen 争辩说，现代研究成果确认了 Burckhardt 的判断：现代科学发端于文艺复兴，其时中世纪学者对待自然界的态度大都被抛弃了；见 Rosen 的文章 "Renaissance Science as Seen by Burckhardt and his Successors," in Tinsley Helton (ed.), *The Renaissance, A Reconstruction of the Theories and Interpretations of the Age* (Madison, Wis., 1961), pp. 77—103。另一方面，Pierre Duhem 在其前面提到的大量著作中赞同科学的连续性，他认为中世纪直接影响了科学革命。John Herman Randall, Jr. 和 Alistair C. Crombie 坚持认为，17 世纪的科学继承了中世纪精炼完善的方法论。关于 John Herman Randall, Jr.，见 "The Development of Scientific Method in the School of Padua," *Journal of the History of Ideas*, Vol. 1 (1940), pp. 177—206，部分重印于 Wiener and Noland (eds.), *The Roots of Scientific Thought*, pp. 139—146 和 *The School of Padua and the Emergence of Modern Science* (Padua, 1961)；关于 A. C. Crombie，见 *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science* 1100—1700 (Oxford, 1953), Chapter 11, pp. 290—319 和 "The Significance of Medieval Discussions of Scientific Method for the Scientific Revolution," in Marshall Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science* (Madison, Wis., 1959), pp. 79—101（参阅同书中 I. E. Drabkin 和 Ernest Nagel 对 Crombie 文章的评论，pp. 142—147 和 pp. 153—154）。Anneliese Maier 提出了一个精辟的折衷观点，他既承认中世纪经院科学的成就，也考虑到它在伽利略之前妨碍重大突破的不足与缺陷，见 *Ausgehendes Mittelalter* (Rome, 1964) 中第 16 章 ("Die Stellung der scholastischen Naturphilosophie in der Geschichte der Physik," pp. 413—424) 和第 17 章 ("Ergebnisse der Spätscholastischen Naturphilosophie," pp. 425—457)。并参阅 Edward Grant, "Late Medieval Thought, Copernicus, and Scientific Revolution," *Journal of the History of*

Ideas, Vol.23(1962), pp.197—220 和 Ernest A. Moody, "Galileo and his Precursors,"前已引用过。

术语、姓氏英汉对照

（文献简介中的人名，除有定译外，概未列入。）

English	中文
Abacus	算盘
Abū'l Barakāt	阿布尔·巴拉克特
Acceleration	加速
confusion of time and distance in	加速运动中时间与距离的混淆
explained by impetus	用冲力解释加速
Galileo's explanation of	伽利略对加速的解释
uniform	匀加速
see also Motion	
Adalberon of Laon	拉昂的阿德伯龙
Adelard of Bath	巴斯的阿德拉德
Aether	以太
Agrimensores (surveyors)	《测地者》
Air, and atmospheric pressure	空气，大气压力
and earth's rotation	空气与地球转动
as element	空气作为元素——气
in explanation of accelerated motion	空气用于解释加速运动
medieval uses of	中世纪对空气的利用
rejected as motive force	否定空气作为动力

on motion in a vacuum	论真空中的运动
physical realist	物理实在论者
rejected impressed forces	否定注入的力
rejection of his proof of God's existence	否定他对上帝存在的证明
Arabs	阿拉伯人
and measurement of earth's circumference	和地球周长的测量
Archimedes	阿基米德
Aristarchus of Samos	萨摩斯的阿利斯塔克
Aristippus, Henricus	亚里斯提卜,亨利克斯
Aristotelian science	亚里士多德(派)科学
Aristotelian system, reasons for its long tenure	亚里士多德体系,其长期稳固地位的理由
Aristotle	亚里士多德
and Avempace	和阿芬巴塞
and Columbus	和哥伦布
and condemnation of 1277	和 1277 年禁单
cosmology of	亚里士多德宇宙学
criticisms of	对亚里士多德的批判
denied extracosmic existence	否定超宇宙的存在
and earth's immobility	与地球的不动(性)
on elements and mixed bodies	论元素和混合物
and eternity of world	与世界的永恒性
on natural motion	论自然运动
a physical realist	一个物理实在论者
on size of earth	论地球的大小
and Stoics	和斯多噶
translation and impact of works of, bib-	亚里士多德著作的翻译、影响

Atomism	原子论
Atomists	原子论者
Augustine, St.	圣·奥古斯丁
Autrecourt, Nicholas of	奥特库尔的尼古拉
Avempace	阿芬巴塞
and Aquinas	和阿奎那
and Galileo	和伽利略
resistant medium unnecessary for motion	阻滞媒质的运动不是必需的
Averroes	阿威罗伊
on eccentrics and epicycles	论偏心轮和本轮
propositions of condemned in 1277	1277年禁单中的命题
separated philosophy and theology	区分哲学和神学
summarized Avempace's opinions	总结阿芬巴塞的观点
translations of his commentaries	注释著作的翻译
Avicenna	阿维森纳
Canon of Medicine of	《医典》
on *mail* theory	论倾向理论
on mountain formation	论山脉的形成
Bacon, Roger	培根,罗吉尔
Bede, Venerable	可敬的比得
Benedetti, Giovanni Battista	伯纳德蒂,伽瓦尼·巴蒂思塔
Bernard of Chartres	沙特尔的贝尔纳
Biology	生物学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
Black death	黑死病
Bodies, fall toward earth's center	物体,朝地心下落
homogeneous	同质物体
mixed	混合物

questions on	论及物体的问题
Boethius	波伊提乌
Arithmetic of	《算术》
Latin encyclopedias	拉丁百科全书作家
On the Consolation of Philosophy	《哲学的慰藉》
Boethius of Dacis	达西的波伊提乌
Bologna, University of	波洛尼亚大学
Bonaventure, St.	圣·波拿文都拉
Bond, J.D.	——帮德
Bonetus, Nicholas	波内图斯,尼古拉斯
Bonser, W.	——帮德
Botany	植物学
Boyle, Robert	波义尔,罗伯特
Bradwardine, Thomas	布雷德沃丁,托马斯
equality of velocities in void	虚空中速度相等
on infinite extramundane void	论无限超世俗虚空
law of	布拉德瓦戴定律
Brahe, Tycho	布拉厄,第谷
Brehaut, E.	布拉霍特
Burgundio of Pisa	比萨的布公图
Buridan, John	布里丹,让(比里当,琼)
on Aristotle's rules of motion	论亚里士多德的运动规则
on celestial impetus	论天体冲力
and Copernicus	与哥白尼
denies existence of vacua	否定真空的存在
explanation of acceleration	对加速的解释
and Galileo	与伽利略
geological theories of	布里丹的地质学理论
on impetus	论冲力

on mountain formation	论山脉的形成
and plurality of worlds	和多重世界
on possible daily rotation of earth	论地球可能有的日转动
and principle of inertia	和惯性原理
on rectilinear motion of earth	论地球的直线运动
on "saving the phenomena"	论"挽救现象"
time and distance proportional to velocity	时间和距离与速度成比例
Byzantine Empire, ix	拜占廷帝国
Calculus	微积分
Callippus	卡利普斯
Cambridge, University of	剑桥大学
Campanus of Novara	
Capella, Martianus	卡佩拉,马提努斯
Cassiodorus	卡西奥多鲁斯
Cathedral schools	教会学校
Cause, and effect relationships	原因,因果关系
Celestial motions	天体运动
Chalcidius	查尔西图斯
Change, four kinds of	变化,四类变化
Chartres, school of	沙特尔学校
Chemistry	化学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
Christ	耶稣基督
Christianity	基督教
and Aristotelian cosmology	和亚里士多德宇宙学
and pagan education	和异教教育
and potential scientific talent	和潜藏的科学人才
triumph of	基督教的胜利

Crates of Mallos	莫洛斯的克拉特斯
Cube, defined	立方体,立方体的定义
Cybele	西贝莉
d'Ailly, Pierre	达利,皮埃尔
Deferent circle	均轮
De mundo (Pseudo-Aristotle)	《论天》(托名于亚里士多德)
Descartes	笛卡尔
Dictionary of scientific Biography	《科学家传记大辞典》
Diocletian	戴克里先
Diophantus	丢番图
Distance, proportional to velocity	距离,与速度成比例
Double truth, doctrine of	双重真理,双重真理说
Down, described by Oresme	下,奥里斯姆的阐述
Duhem, P.	迪昂,皮埃尔
and condemnation of 1277	和 1277 年禁单
Dumbleton	敦布莱顿
Duns Scotus	邓斯·司各脱
Dynamics	动力学
Earth	地球
center of gravity of	地球的重心
daily rotation of	地球的日转动
as element	土(元素)
erosion of	地球的侵蚀
and geometric center of universe	与宇宙的几何中心
and immobility of	地球的不动性
rectilinear motion of	地球的直线运动
size of	地球的大小
sphericity of	地球的球形

Eccentrics	偏心
Eclipse	食(月食)
Elements, four	元素,四元素
as hypothetical entities	作为假设的实体
opposition of heavy and light	重与轻的对立
in other worlds	在其他世界中
Ellipses	椭圆
Embryology	胚胎学
Empedocles	恩培多克勒
Empiricism	经验论
Encyclopedic tradition	百科全书传统
Encyclopedists, *see* Latin encyclopedists	百科全书派,见拉丁百科全书作家
Epicycles	本轮
Equat	等值点
Equinoxes, precession of	两分点,岁差
Erasistratus	埃拉西斯特拉图斯
Eratosthenes of Cyrene	居勒尼的埃拉托色尼
Eucharist	圣餐
Euclid	欧几里德
Eudoxus of Cnidus	克尼多斯的欧多克索
Eugene the Emir	埃米尔·尤金
Exemplarism	标准(教义)
Exponents	指数
Faith, in ability to acquire knowledge	信心(信仰),获得知识的能力
as basis for religious belief	作为宗教信仰的基础
and natural reason	与自然理性
Falcons	猎鹰
Figures, geometric	图形,几何图形

Fire, weightless element	火,无重量的元素
Force, external	力,外部的力
impressed	注入的力
incorporeal	无形的力
motive	动力
Franciscus de Marchia	佛朗西斯科·德·马歇
Frederick Ⅱ, Holy Roman Emperor	弗里德里克二世,神圣罗马皇帝
Fulbert of Chartres	沙特尔的富尔贝尔
Furnace, blast	鼓风炉
Galen of Pergamum	帕加蒙的盖仑
Galileo	伽利略
and definition of instantaneous velocity	和瞬时速度的定义
De motu	《论运动》
Discourses on Two New Sciences	《关于两门新科学的对话》
distance proportional to square of time	距离与时间的平方成比例
equality of fall in void	虚空中落体速度相等
erroneously assumed velocity proportional to distance	错误地假设速度与距离成比例
founder of modern mechanics	现代力学的奠基者
and impressed force theory	与注力的力理论
and medieval definitions of motion	与中世纪对运动的定义
and medieval predecessors	与中世纪先驱
science and reality	科学和实在
and self-dissipating impetus	与自耗的冲力
velocity proportional to time	速度与时间成比例
Geminus	革米努斯
Generans	《初动者》
Generator	初动者

Genesis	《创世纪》
Geography	地理学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
Geology	地质学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
Geometric proportionality	几何比
Geometry	几何学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
in Isidore of Seville	塞维利亚的伊西多尔的几何学
Oresme's proof	奥里斯姆的几何证明
Geometry of the Three Brothers	《三兄弟的几何学》
Gerard of Cremona	克雷莫纳的热拉尔
greatest of translators from Arabic to Latin	自阿拉伯文至拉丁文的最伟大翻译家
Gerbert of Aurillac	奥里亚克的热尔贝
Giles of Rome	罗马的吉莱斯
Glider	滑翔器
Gnostics	诺斯提
God	上帝
absolute power of	上帝的全能
and creation of world	与世界的创造
as dimensionless being	作为无维度的存在
extension as an attribute of	广延作为上帝的属性
and infinite extramundane void space	与无限超世俗虚空
limits on power of	对上帝全能的限制
love of makes world go round	爱使世界转动
and motion of the universe	与整个世界的运动
and motion in a void	与虚空中的运动
and plurality of worlds	与世界的多重性

and proofs for His existence	与"他"存在的证明
Gravity	重力
center of	重心
Greek science, a fragile enterprise	希腊科学,脆弱的机体
and handbook tradition	与工具书传统
high level of in late antiquity	晚古的高水平
Gregory IX, pope,	格列高利九世,教皇
Guericke, Otto von	盖里克,奥托·冯
Gundisalvo, Domingo (or Dominicus)	冈底萨沃,多米尼克
Handbook tradition	工具书的传统
Heaviness	重
accidental	附属重
Heliocentric system	日心体系
Hellenistic Age	希腊化时代
Heraclides of Pontus	庞托斯的赫拉克利德
Hermann of Carinthia	卡林西亚的赫尔曼
Hermann the German	德国人赫尔曼
Hermann of Reichenau	赖谢瑙的赫尔曼
Hermes	赫耳墨斯
Hermes Trismegistus	伟大的赫耳墨斯
Hermetic literature	赫耳墨斯派文献
Hero of Alexandria	亚历山大里亚的希罗
Herophilus	希罗菲卢斯
Heytesbury	海特斯布里
Hipparchus	喜帕恰斯(希帕克)
Holcot, Robert	霍科特,罗伯特
Horsepower	马力
Hospitals	医院

Islam, ix	伊斯兰
Italy	意大利
Jacques d' Eltville	雅克·德特维尔
James of Venice	威尼斯的詹姆士
Jesuits,	耶稣会士
Jonannes de Ripa	乔安内·德·拉帕
John XXI, Pope	约翰二十一世,教皇
John of Auxerre	奥塞尔的约翰
John of Mirecourt	米拉柯特的约翰
John of Seville	塞维利亚的约翰
Joshua	约书亚
Joshua	《约书亚记》
Jung, C. G.	荣格
Jupiter	木星
Justinian	查士丁尼
Kepler, Johannes	开普勒
Kinematics	运动学
Koyré, A.	柯伊雷
on condemnation of 1277	论 1277 年禁单
Lactantius	拉克坦提乌斯
Latin encyclopedists	拉丁百科全书作家
Leibniz, Gottfried Wilhelm	莱布尼兹
Leonardo da Vinci	列奥纳多·达·芬奇
Liberal arts	人文学科
seven	七艺
Lightness	轻

English	中文
picture	图像
Medium	媒质
Menelaus	墨涅拉俄斯
Mercury	水星
Meridian	子午线
Merton College	梅顿学院
Metallurgy	冶金学
Metaphysics	形而上学
Michael Scot	米歇尔·司各特
Mineralogy	矿物学
Mining	采矿
Mithra	密特拉
Moerbeke, William of	莫比克,莫比克的威廉
greatest of translators from Greek to Latin	将希腊文译成拉丁文的最伟大翻译家
Momentum	动量
Monastic schools	寺院学校
Montpellier, University of	蒙彼利埃大学
Moon	月
More, Henry	摩尔,亨利
Moses	摩西
Moses of Bergamo	贝加莫的摩西
Motion(s), absolute	运动,绝对运动
accelerated	加速运动
Aristotle's qualification for rules of	亚里士多德运动规则的限定条件
circular	圆周运动
exponential law of	运动的指数律
Galileo's law of fall	伽利略落体定律

inertia and impetus in	惯性与冲力
Nicaise, E.	
Nicomachus of Gerasa	吉拉萨的尼科马科斯
Nominalism and nominalists	唯名论和唯名论者
Numbers	数
Number theory	数论
Ockham, William of	奥康(奥卡姆),奥康的威廉
influence of	奥康的影响
summary of basic ideas of	奥康基本观点的概述
Ockham's razor	奥康剃刀
On the Nature of Things, of Bede,	《论事物的本性》,彼得著
of Isidore of Seville	塞维利亚的伊西多尔著
of Lucretius	卢克莱修著(《物性论》)
Opposites, lightness and heaviness	对立特性,轻与重
three pairs of	三对特性
Optics	光学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
Optics, of Euclid	《光学》,欧几里德著
of Ptolemy	托勒密著
Oresme, Nicole	奥里斯姆,尼古拉
and arguments of Copernicus	与哥白尼的论争
denies rotation of earth	否定地球转动
on the earth's daily rotation	论地球的日转动
and Galileo	和伽利略
on an infinite extramundane vacuum	论无限超世俗虚空
and plurality of worlds	和世界的多重性
and proof of mean speed theorem	和平均速度定理的证明
and "saving the phenomena,"	与"挽救现象"

Ornithology	鸟类学
Osiander, Andreas	奥西安德,安德列斯
Oxford, University of	牛津大学
bibliography of	参考文献
Pappus	帕普斯
Parachute	降落伞
Parens scientiarum, papal bull	《教牧法规》,教皇训谕
Paris, University of	巴黎大学
bibliography of	参考文献
fate of Aristotle's works at	亚里士多德的著作在巴黎大学的命运
Pascal, Blaise	帕斯卡
Peter Alfonso	彼特·阿丰索
Philoponus, John	菲洛波诺斯
denied necessity of resistant medium	否认阻滞媒质的必需性
on impressed force or impetus	论注入的力或冲力
Philosophers, and theologians	哲学家,与神学家
Physics	物理学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
history of	物理学史
subordinated to astronomy	隶属于天文学
Physiologus	《自然哲学》(一本驯兽著作)
Pierre de Ceffons	皮埃尔,德·塞丰
Pisa, University of	比萨大学
Place, Aristotle's concept of	位置,亚里士多德的位置概念
does not exist beyond world	不存在于世界之外
natural	自然的位置
prior to world's creation	先于世界的创造

questions on	论及位置的问题
Planets, assigned spheres by Aristotle	行星，亚里士多德指派的天球
fixed order of	固定的行星次序
motions of	行星的运动
relative positions of	行星的相对位置
Plato	柏拉图
Latin translations of works	其著作的拉丁译本
and relative weight	与相对重
Works: *Meno*	著作:《美诺篇》
Parmenides	《巴门尼德篇》
Phaedo	《斐多篇》
Timaeus	《蒂迈欧篇》
Platonism	柏拉图主义
Plato of Tivoli	蒂沃利的柏拉托
Plenum	实满
world a	世界是一个实满
Pliny the Elder	老普林尼
Plough	犁
Pneuma	元气(普纽玛
Pneumatics	流体力学
Pole	极地
Posidonius	波塞东尼奥(波昔东尼)
Positivism	实证论
Pressure, atmospheric	大气压力
Probability	概率
Proportions	比例
Psychology	心理学
Ptolemy, Claudius	托勒密
on immobility of earth	论地球不动

Reformation	宗教改革运动
Religion(s), based on faith	宗教，基于信仰
mystery	神秘的
Renaissance	复兴运动
Resistance, external	阻力，外阻力
internal	内阻力
as tendency toward natural place	作为朝向自然位置的倾向
in violent motion	强制运动中的阻力
Rest	静止
contrary to motion	与运动相对
nobler than motion	比运动高贵
Rhazes	拉尔泽斯
Robert of Chester	切斯特的罗伯特
Roman(s)	罗马
agrimensores	《测地者》
Empire, ix	帝国
and handbook tradition	与工具书传统
miles	罗马里
Sacrobosco, John of	萨可罗波斯科的约翰
Salerno, medical school of	萨来诺医学学校
Santa Maria de Ripoll	圣·玛丽亚·德·黎波(修道院)
Sarton, G.	萨顿
Saturn	土星
Savasorda	萨瓦索达
Saving the phenomena	挽救现象
and convenience	便利
Copernicus' view of	哥白尼的观点
by simplest means	用最简单的方式

Specific weight	比重
Speed; *see also* Motion; Velocity	速度;也见:运动,速度
Sphere(s), assigned to planets by Aristotle	天球,亚里士多德指派于行星的天球
eighth	第八天球
ninth	第九天球
Spinoza, Benedict	斯宾诺莎
Square	正方形
Stade	古希腊里
Stars	恒星
Statics	静力学
Stirrup	马镫
Stoicism	斯多噶学派
Stois	斯多噶派
Sun	太阳
center of earth's motion	作为地球运动的中心
composition and motion of	太阳的组成与运动
Surgery	外科学
Swineshead	斯温斯赫德
Sylvester Ⅱ, pope	西特维斯特二世,教皇
Technology, bibliography of medieval	技术,中世纪参考文献
Tempier, Etienne, bishop of Paris	坦皮尔,埃特内,巴黎主教
Tertullian	特图连
Themistius	地米思图斯
Theodosius	狄奥多西
Theologians, and masters of arts	神学家,与文科硕士
and philosophers	与哲学家
and "saving the phenomena"	与"挽救现象"
Theon of Smyrna	司米那的塞翁

supralunar region of	月上区
Universities	大学
bibliography of medieval	中世纪参考文献
curriculum	课程
Up, described by Oresme	上,奥里斯姆的阐述
Vacuum (void)	真空(虚空)
existence of beyond world denied by Aristotle	亚里士多德否定世界之外的存在
finite and successive motion in	真空中有限的和连续的运动
and God's movement of world	与上帝使世界运动
infinite vacuum beyond world	世界之外的无限真空
instantaneous motion in	真空中瞬时运动
motion in	真空中的运动
nature does not abhor a	大自然并不憎恶真空
questions on	论及真空的问题
Stoic proof of, beyond world	斯多噶对世界之外真空的证明
violent motion in	真空中的强制运动
Varro, Marchs Terentius	瓦罗,马库斯·特伦图斯
Velocity, equality of velocities in void	速度,虚空中速度相等
expressed as proportional relationship	表述成比例关系
and infinitesimal time intervals	与无穷小时间间隔
instantaneous	瞬时速度
intensity of	速度的强度
question on	论及速度的问题
successive increments of	速度的连续增长
time and distance proportional to	时间和距离与速度成比例
Venice	威尼斯
Venus	金星

剑桥科学史英文版编者

乔治·巴萨拉(George Basalla)，特拉华大学(University of Delaware)

威廉·科尔曼(William Colman)，威斯康星大学(University of Wisconsin)

剑桥科学史汉译编委会

英文版《剑桥科学史》总序

在西方世界智力劳动的成就中，科学的地位越来越突出。不管是出于宗教的目的，还是出于哲学上的探索，或者出于技术上创新的要求和经济上的考虑，科学的发展的确建立了自身独特的思想体系，而且还明确了专业训练和实践的具体标准。在这一过程中，又逐步建立了很有特色的社会团体和研究机构。相应地，科学——天文学，物理学及相关的数学方法，化学，地质学，生物学及医学的方方面面，还有关于人的研究——的历史，不但显示出极大的重要性和异常的复杂性，而且还为进一步分析研究提出了大量带有挑战性的难题。

半个多世纪以来，国际上有一批学者致力于各门科学的历史研究。他们的研究著作，只有具备相当水平的专业知识的读者才能真正理解，换言之，这类作者只热衷于为科学史领域的少数专业人士而写作。这就产生了一种悖论，即受过现代教育，并关注科学技术及其在人类生活和现代文化中的作用的人们，反而很难理解那些专门从事说明科学的概念演变和社会影响的学者的看法。

《剑桥科学史丛书》的主编和撰稿者们却是那些既致力

于科学史的研究,又面向广大读者的作者群体。各书的作者熟悉各自专业的学术文献,但要成书却很不容易,因为他们需要在综合科学史的最新学术成就和相关结论的基础上,再向普通读者讲述西方历史中各个重要时期内的科学活动,还要对这些科学活动作出言简意赅的评价和分析。本套丛书中各卷都是一个相对独立的整体,全套丛书就描绘出西方科学传统的全貌。此外,各卷都罗列了与其主题相关的内容广泛的文献评介,以利读者深入研究时参考。

乔治·巴萨拉
威廉·科尔曼

《剑桥科学史》汉译弁言

科学是国际性的文化。以科学为对象的科学史，也是国际性的文化。了解国际学术背景并进而在国际学术背景下工作，是我们发展自己的学术事业的必由之路。

巴萨拉和科尔曼编辑的这套科学史丛书，历时近30年，从1971年至今共出版11部（1971—1975年由约翰·威利父子公司出版了其中的4部，从1977年起改由剑桥大学出版）。丛书的作者都是优秀的科学史学家。他们或者是国际科学史研究院院士，或者是国际学术组织负责人，或者是国际性学术奖得主，在国际科学史界占有重要的学术地位。他们以准确、精短的叙述和分析，继承了已有的科学史遗产，总结了新的科学史研究成就，纠正了对科学史的种种谬见和误解，勾勒出科学发展的复杂图景，为我们奉献了一批科学史著作的精品。

科学家们在他们的科学工作之外撰写科学史的历史相当悠久。

据说，欧德摩斯（Eudemus）在公元前4世纪写过天文学史和数学史著作。普罗克拉斯（Proclus）和辛普利西乌斯（Simplicius）分别在5世纪和6世纪有过关于欧几里得数学

史和前亚里士多德自然哲学史的论述。现代科学诞生即文艺复兴时期,古典权威的捍卫者和新科学的先驱都把历史作为斗争的工具。在他们心目中,只有历史古老性和权威性才是学术思想合法性最有力的论证。

到18世纪,科学家们撰写的科学史在两个方向上展开。在一个方向上,普里斯特利(Joseph Priestley,1733—1804)等人把科学史当作科学家们已经做的和能够做的事情的报告。其主要特征是按照作者所处时代关注的主题,着重描述相应专业的具体知识的演化,由此形成了科学家们塑就的持续至今的科学-历史传统。普里斯特利的《电学史》(1767)和《光学史》(1772)、蒙丢克拉(Jean Étienne Montucla,1725—1799)的《数学史》(1758)、巴伊(Jean-Sylvain Bailly,1736—1793)的《天文学史》(1775—1782),都是这个传统中的优秀范例。这个传统中的作品,有时候也被人们不太恰当地称为"内史"作品。与内史相对的另一种科学史传统被称作"外史",因为它着眼于具体的科学知识之外那部分与科学事业相关的历史。在这个方向上展开的科学史,从斯普拉特(Thomas Sprat,1635—1713)开始。他撰写的《皇家学会史》(1667)是科学建制史而不是科学知识史。惠威尔(William Whewell,1794—1866)的《归纳科学史》(1837)可能是第一部科学通史著作。

19世纪末20世纪初,迪昂(Pierre Duhem,1861—1916)的研究,开创了把科学史研究建立在严格的文献考证基础上的风气。可以说,到这个时候,科学史研究的学术传统和基本范型已经奠定了较为坚实的基础。与此相联系,随着科学的职业化及其社会地位的提升,一些著名科学家,如海克尔(E.H.P.A.Haeckel,1834—1919)、奥斯特瓦尔德

(F.W.Ostwald,1853—1932)等人,主张从根本上改造传统史学,用科学家取代国王在历史中的地位,用以科学进步为基础的历史取代以经济、政治、战争和外交为主要内容的历史,从而确认科学在文化中的支配地位。与此同时,考古学、人类学和语文学等学科取得的一些重要成就,进一步充实科学史的内容,丰富了科学史的研究范围。科学史的成就及其独立价值越来越得到社会的认同;借助一些具体的社会形式,科学史与其研究对象一样,也开始了其职业化进程。

科学史的职业化大致有这样一些外在标志:1892 年,法国任命第一位科学史教授;1900 年,第一届国际科学史大会在巴黎举行;1912 年,萨顿(George Sarton,1884—1956)创办迄今最有影响的科学文化史刊物《爱西斯》;1924 年,美国成立了国际性的科学史学会;1923 年,辛格(Charles Singer,1876—1960)在伦敦大学学院创设科学史与科学方法系;1929 年,国际科学史学会成立;40 年代,哈佛大学授予第一个科学史专业的哲学博士学位;50 年代,科学史终身成就奖萨顿奖章设立。现在,全世界的科学史或医学史研究机构已达数百个,著名大学几乎都设有科学史教学机构或研究生培养计划,重要的科学史学术刊物至少数十种,每年发表的科学史书籍或论文数千部(篇)。

要在汗牛充栋的文献中,保持审视不同科学史观、取舍恰当的科学史方法、辨识科学史方向和潮流、鉴赏优秀科学史作品的能力,对于外行,甚至职业科学史学家来说,都是一个相当困难的问题。感谢剑桥科学史丛书的编者,他们为我们选择了当代科学史著作的珍品,为我们了解这一领域的优秀成果提供导引;也要感谢剑桥大学出版社和复旦

大学出版社的精诚合作,特别是龚少明先生、林骧华先生的卓有成效的工作,感谢剑桥大学出版社版权部主任克里斯蒂娜·罗伯茨(Christina Roberts)和中国访英学者周午纵先生的热情帮助,经过众多译者的艰苦案头工作和出版社编辑的认真审校,这套丛书的汉译才得以问世。

剑桥科学史丛书从一定意义上反映出第二次世界大战以后世界各国科学史领域的重大成就。丛书既为文化史和各相关专业的学生和学者提供了高水准的参考书,又为一般读者提供了了解科学文化发展的指南。每部书末附有进一步的阅读文献,其间夹有作者对相应文献的简要评介,为有兴趣者进一步研究指出了门径。更为可贵的是,丛书在论述过程中渗入了科学史的现代研究方法和思维方式。应当说,寄寓于优秀科学史著作中的科学史观和科学史方法,是最有生命力的。

我国改革开放以来,已经翻译出版了不少优秀的科学哲学著作和一定数量的科学社会学经典著作。相比之下,优秀科学史著作的翻译出版相当薄弱。从学术研究的角度看,这种情况不仅不利于国内科学史界了解国际学术背景,而且也使科学哲学和科学社会学研究缺乏必要的科学史基础。科学哲学和科学社会学的深入研究,离不开对新的重大的科学史成就的分析、诠释和概括。这套丛书的翻译出版,如能为相关学术领域研究的深入发展起到一些积极的作用,则幸甚。

任定成

1999 年 12 月于承泽园